# UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

## FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL

## ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

# MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2026.

Tesis para optar el título profesional de

**INGENIERO CIVIL**

**MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY**

**XENIA TAMARA BARBOZA POMA**

**Pucallpa - Perú**

**2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**
**FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**
**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**

## ACTA DE EVALUACIÓN DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 08-2026

**GRADUANDO :**
BARBOZA POMA, Xenia Tamara
VALENCIA ACUY, María Cristina

**TEMA** : ***"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2024."***

**ASESOR** : Dr. Devyn Omar DONAYRE HERNANDEZ

| CRITERIOS | PUNTAJE | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 3 | 2 | 1 | 0 |
| **I- PRESENTACION** | | | | |
| * MOTIVACION | | X | | |
| * TONO DE VOZ | | X | | |
| * CALIDAD DE MATERIAL AUDIOVISUAL | | X | | |
| **II- DESARROLLO DE CONTENIDO** | | | | |
| * SECUENCIA | | X | | |
| * DOMINIO DE VOZ | | X | | |
| * USO ADECUADO DEL MATERIAL | | X | | |
| * VALIDEZ DE LOS HALLAZGOS | | X | | |
| **III- ABSOLUCION DE PREGUNTAS** | | | | |
| * RESPONDE A LAS PREGUNTAS FORMULADAS POR EL JURADO | | X | | |
| **IV- APORTE CIENTIFICO Y TECNOLOGICO** | | | | |
| * AL DESARROLLO DE LA COMUNIDAD | | X | | |
| * A LA PROFESION | | X | | |

**EVALUACION**

- EXCELENCIA — 26 A 30 PUNTOS
- UNANIMIDAD — 21 A 25 PUNTOS
- MAYORIA — 16 A 20 PUNTOS
- DESAPROBADO — 15 A MENOS

**CALIFICACION FINAL:**
PUNTAJE : 20/ 30

**CONCLUSIONES:**
APROBADO POR : **MAYORÍA**
DESAPROBADO POR :

**JURADO EVALUADOR**

Dr. Horacio SORIANO ALAVA
PRESIDENTE

Dr. David Abel GONZALEZ MANRIQUE DE LARA
MIEMBRO

Mg. Mijael Gabriel MERCADO ROJAS
MIEMBRO

M.SC. CLOTILDE RÍOS HIDALGO DE CERNA
SECRETARIA ACADÉMICA

**PUCALLPA, 16 DE ENERO DEL 2026**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**
**FACULTAD DE INGENIERIA DE SISTEMAS E INGENIERIA CIVIL**
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

**COMISION DE GRADOS Y TITULOS**

**TESIS TITULADA:**

"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2024"

**ELABORADO POR:**

Bach. VALENCIA ACUY, María Cristina
Bach. BARBOZA POMA, Xenia Tamara

**APROBADO POR:**

DR. HORACIO SORIANO ALAVA
(Presidente)

DR. DAVID ABEL GONZALES MANRIQUE DE LARA
(Primer Miembro)

MG. MERCADO ROJAS MIJAEL GABRIEL
(Segundo Miembro)

DR. DEVYN OMAR DONAYRE HERNANDEZ
(Asesor)

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# CONSTANCIA

## ORIGINALIDAD DE TESIS

Nº **V/016-2026**.

La Dirección de Producción Intelectual de la Universidad Nacional de Ucayali, hace constar por la presente, que la Tesis titulada:

"**MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025**"

| | | |
|---|---|---|
| Autor(es) | : | **VALENCIA ACUY, MARIA CRISTINA** |
| | | **BARBOZA POMA, XENIA TAMARA** |
| Facultad | : | **INGENIERÍA DE SISTEMAS E INGENIERÍA CIVIL** |
| Escuela | : | **ING. CIVIL** |
| Asesor(a) | : | **Dr. DONAYRE HERNANDEZ, DEVYN OMAR** |

Presenta un **porcentaje de similitud de 3%,** verificado en el Sistema Antiplagio COMPILATIO,

De acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica: "todo trabajo de investigación no debe superar el 10%". **En tal sentido, se declara, que la TESIS presenta un porcentaje aceptable de similitud,** procediéndose a emitir la presente Constancia a solicitud del asesor.

En señal de conformidad se firma y sella el presente documento.

Fecha: 15/01/2026

Dr. JOSÉ MANUEL CÁRDENAS BERNAOLA
Director de Producción Intelectual

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

## Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, María Cristina Valencia Acuy

Autor de la tesis titulada : Modelación tipo maxing modificado para estimar las propiedades dinámicas de suelos arcillosos de la ribera del lago de Yarinacocha, Ucayali 2025.

Sustentada el año 2026

Asesor(a): Derwin Omar, Donayre Hernandez

Facultad: Facultad de Ingeniería de Sistemas y de Ing. Civil

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

**Primero**: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

**Segundo**: Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 15/01/2026

Email: cristina11.2024@gmail.com Firma: [signature]

Teléfono: 934903003 DNI: 72877085

UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

DIRECCIÓN DE PRODUCCIÓN INTELECTUAL

# AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN

## Repositorio de la Universidad Nacional de Ucayali

Yo, Xenia Tamara Barboza Poma

Autor de la tesis titulada : Modelación tipo masing modificado para estimar las propiedades dinámicas de suelos cohesivos de ladera del lago de Yaninacocha, Ucayali 2025.

Sustentada el año 2026

Asesor(a): Deyn Omar Donayre Hernandez

Facultad: Facultad de ingeniería de Sistemas y de Ing Civil

Escuela Profesional: Ingeniería Civil

Autorizo la publicación:

PARCIAL [ ] TOTAL [X]

De mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali (www.repositorio.unu.edu.pe), bajo los siguientes términos:

**Primero**: Otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en formato digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones.

**Segundo:** Declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas, caso contrario, me hago único(a) responsable de investigaciones y observaciones futuras, de acuerdo a lo establecido en el estatuto de la Universidad Nacional de Ucayali, la Superintendencia Nacional de Educación Superior Universitaria y el Ministerio de Educación.

En señal de conformidad firmo la presente autorización.

Fecha: 15 / 01 / 2026

Email: xenia17132@gmail.com Firma:

Teléfono: 968235658 DNI: 46938365

## DEDICATORIA

A mi familia, por brindarme la confianza de poder lograr mis objetivos profesionales, que mediante sus palabras de motivación influyeron grandemente para no desmayar este camino tan importante en vida.

A mi hijo Lucas Ahmet, por su paciencia y ternura en cada etapa. Dedico este logro a tus sueños.

***María Cristina***

A Dios, por brindarme la fortaleza para afrontar los desafíos a lo largo de mis estudios y la presente investigación.

A mi familia, por ser el motor de vida que me permite ser cada día mejor persona.

A mis docentes, que con sus instrucciones permitieron que desarrolle conocimientos necesarios para aplicar lo aprendido en la vida profesional.

***Xenia Tamara***

## AGRADECIMIENTOS

Nuestros más sinceros agradecimientos a todos los colaboradores que han aportado de manera muy valiosa todo el proceso de desarrollo de la presente investigación, haciendo posible culminar el presente estudio.

A Dios, por su guía, fortaleza y paciencia durante cada etapa de este trabajo. Reconocemos que sin su providencia no habríamos llegado hasta aquí.

Agradecemos a nuestro asesor el ing. Devyn Omar Donayre Hernández, que desde el primer momento ha mostrado su predisposición para ayudarnos a encaminar nuestra tesis.

A nuestras familias, por su apoyo y paciencia; gracias por comprender nuestras ausencias en los trabajos de campo en la ribera de la laguna de Yarinacocha y en el laboratorio, y por alentarnos cuando más lo necesitábamos.

A los docentes que compartieron sus observaciones, al personal de laboratorio de GEOTEC JSB, y a la Municipalidad Distrital de Yarinacocha por el permiso y apoyo logístico durante muestreos y ensayos.

***Las tesistas***

## RESUMEN

Se estimaron las propiedades dinámicas de los suelos arcillosos de la ribera del lago Yarinacocha (Ucayali, Perú) mediante un modelo Masing modificado, empleando como variables de entrada el índice de plasticidad (IP) y el confinamiento efectivo (σ′c) obtenido a partir de parámetros geostáticos. Para ello, se ejecutaron quince calicatas de hasta 3.00 m de profundidad distribuidas en cinco tramos, registrándose el nivel freático entre 1.40 m y más de 3.00 m. A partir de ensayos de clasificación e índices físicos se determinaron IP, Gs, contenido de humedad y densidades natural y saturada, lo que permitió calcular γ_húm, γ_sat y σ′c por calicata. Con esta información se generaron curvas de rigidez normalizada (G/Gmax) y amortiguamiento (D) en función de la deformación cortante (γ), organizadas por calicata, tramo y su respectiva envolvente general. Asimismo, se derivaron parámetros equivalentes de rigidez y amortiguamiento (Geq y Deq) a γ = 0.01%, 0.10% y 0.50%, diferenciados por estratos (0-1, 1-2 y 2-3 m), aptos para su uso en análisis de respuesta sísmica 1D e interacción suelo-estructura. Los resultados mostraron una degradación progresiva de rigidez y aumento de amortiguamiento con la deformación, consistentes con arcillas de plasticidad media (IP ≈24-26 %). La transferibilidad local de curvas fue válida entre sectores con condiciones comparables de IP, σ′c y nivel freático. Finalmente, se evaluaron sensibilidades a variaciones de NF (±0.50 m) y de $K_0$ (0.50–0.60), generándose tablas y figuras listas para su implementación en software de análisis geotécnico.

**Palabras clave:** Masing modificado; Propiedades dinámicas; Índice de plasticidad; Confinamiento efectivo; Respuesta sísmica de sitio.

## ABSTRACT

This study estimates the dynamic soil properties (shear modulus reduction and damping ratio as a function of shear strain) of the clayey deposits along the shoreline of Lake Yarinacocha (Ucayali, Peru) using a modified Masing model. The index of plasticity (IP) and the effective confining stress (σ′c), computed from geostatic conditions, were employed as input parameters. Fifteen test pits, up to 3.00 m deep and distributed across five sectors, were excavated to obtain laboratory and in-situ physical properties including IP, specific gravity, natural water content, and bulk and saturated unit weights, which were then used to calculate σ′c. Based on these inputs, normalized shear modulus reduction (G/Gmax) and damping ratio (D) curves were generated for each pit, for each sector, and for the overall site envelope. Representative curves were then developed, and equivalent dynamic parameters (Geq and Deq) were interpolated at shear strain levels of 0.01%, 0.10% and 0.50% for depth intervals of 0-1, 1-2, and 2-3 m, enabling direct use in one-dimensional site response analysis. The results show a monotonic reduction in stiffness and a corresponding increase in damping with shear strain, consistent with medium-plasticity lacustrine clays (IP ≈24-26%). Local transferability of curves was confirmed for sectors with comparable IP, σ′c, and groundwater depth conditions. Sensitivity analyses were performed for variations in groundwater level (±0.50 m) and $K_0$ (0.50-0.60), and final datasets were prepared for implementation in geotechnical seismic analysis software.


**Keywords:** Modified Masing model; Dynamic soil properties; Plasticity index; Effective confining stress; Site seismic response.

# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA** ..... vii

**AGRADECIMIENTOS** ..... viii

**RESUMEN** ..... ix

**ABSTRACT** ..... x

**ÍNDICE GENERAL** ..... xi

**ÍNDICE DE TABLAS** ..... xiii

**ÍNDICE DE FIGURAS** ..... xiv

**INTRODUCCIÓN** ..... xv

**CAPÍTULO I** ..... 17

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA** ..... 17

1.1. Descripción y fundamentación del problema ..... 17

1.2. Formulación del problema ..... 19

1.2.1. Problema general ..... 19

1.2.2. Problemas específicos ..... 19

1.3. Objetivos de la investigación ..... 20

1.4. Justificación e importancia ..... 21

1.5. Limitaciones y alcances ..... 23

1.6. Hipótesis y/o sistema de hipótesis ..... 24

1.6.1. Hipótesis general ..... 24

1.6.2. Hipótesis específicas ..... 24

1.7. Sistema de variables, dimensiones e indicadores ..... 25

**CAPÍTULO II** ..... 28

**MARCO TEÓRICO** ..... 28

2.1. Antecedentes de la investigación ..... 28

2.1.1. Antecedentes internacionales ..... 28

2.1.2. Antecedentes nacionales ..... 30
2.1.3. Antecedentes locales ..... 32
2.2. Bases teóricas ..... 33
**CAPÍTULO III** ..... 42
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN** ..... 42
3.1. Metodología y técnicas utilizadas ..... 42
3.2. Población y muestra ..... 45
3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos ..... 49
3.4. Procesamientos para recolección de datos ..... 50
3.5. Tratamiento de datos ..... 51
3.6. Procedimientos para la elaboración de las muestras y recolección de datos ..... 52
**CAPÍTULO IV** ..... 54
**RESULTADOS** ..... 54
4.1. Caracterización general del sitio ..... 54
4.2. Confinamiento efectivo y parámetros base ..... 55
4.3. Resumen de parámetros límite por calicata para el proceso de modelación ..... 59
4.4. Propiedades dinámicas normalizadas (modelo Masing modificado) ..... 59
4.5. Parámetros equivalentes para análisis sísmico ..... 60
4.6. Comportamiento teórico de las propiedades dinámicas del suelo por cada tramo 61
4.7. Discusión de resultados ..... 67
**CONCLUSIONES** ..... 72
**RECOMENDACIONES** ..... 74
**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... 75
**ANEXOS** ..... 80

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1**. Operacionalización de las variables ..... 26

**Tabla 2**.Productos derivados (outputs)..... 27

**Tabla 3**. Ubicación y atributos de calicatas ..... 47

**Tabla 4**. Cobertura por tramo y densidad de muestreo ..... 48

**Tabla 5**. Sustento del tamaño muestral por precisión objetivo en IP..... 48

**Tabla 6**. Resumen por calicata: propiedades de entrada y parámetros base ..... 54

**Tabla 7**. Confinamiento efectivo por calicata y parámetros geostáticos..... 55

**Tabla 8**. Valores de frontera para modelación dinámica ..... 59

**Tabla 9**. Parámetros equivalentes por tramo ($G_{eq}$, $D_{eq}$) a γ = 0.01 %, 0.10 %, 0.50 %..... 60

**Tabla 10**. Tendencia de comportamiento dinámico por tramos ..... 60

**Tabla 11**. Síntesis de efectos principales sobre la respuesta dinámica ..... 68

**Tabla 12**. Métricas de ajuste frente a curvas de referencia dependientes de IP..... 69

**Tabla 13**. Validación de orden de magnitud respecto a bibliografía clave..... 69

**Tabla 14**. Parámetros equivalentes por tramo a deformaciones compatibles..... 70

**Tabla 15**. Sensibilidad a variación del nivel freático (referencia γ = 0.10 %). ..... 70

**Tabla 16**. Sensibilidad a $K_0$ (referencia 0.55) en γ = 0.10 %. ..... 70

**Tabla 17**. Tabla de contraste con los antecedentes ..... 71

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1**. Regla de Masing (Ishihara, 1996)..... 34

**Figura 2**. Límites de Atterberg (Das, 2014)..... 35

**Figura 3**. Carta de plasticidad (Das, 2014) ..... 36

**Figura 4**. Diagrama de flujo de la metodología. ..... 44

**Figura 5**. Ubicación de calicatas en la zona de investigación ..... 48

**Figura 6**. $G_{max}$ en función de IP para el Tramo 1 ..... 56

**Figura 7**. $G_{max}$ en función de IP para el Tramo 2 ..... 56

**Figura 8**. $G_{max}$ en función de IP para el Tramo 3 ..... 57

**Figura 9**. $G_{max}$ en función de IP para el Tramo 4 ..... 57

**Figura 10**. $G_{max}$ en función de IP para el Tramo 5..... 58

**Figura 11**. $G_{max}$ en función de IP – Envolvente global ..... 58

**Figura 12**. G vs γ – Tramo 1..... 61

**Figura 13**. D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 1 ..... 61

**Figura 14**. G vs γ – Tramo 2..... 62

**Figura 15**. D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 2 ..... 62

**Figura 16**. G vs γ – Tramo 3..... 63

**Figura 17**. D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 3 ..... 63

**Figura 18**. G vs γ – Tramo 4..... 64

**Figura 19**. D (λ/λmax) vs γ – Tramo 4..... 64

**Figura 20**. G vs γ – Tramo 5..... 65

**Figura 21**. D (λ/λmax) vs γ – Tramo 5..... 65

**Figura 22**. G vs γ – Envolvente global ..... 66

**Figura 23**. D (λ/λmax) vs γ – Envolvente global ..... 66

# INTRODUCCIÓN

La respuesta sísmica de depósitos de arcilla depende de la rigidez del suelo en pequeñas y medianas deformaciones y de su capacidad de disipar energía a través del amortiguamiento. En ambientes amazónicos ribereños como la cuenca de Yarinacocha (Ucayali), la presencia cercana de la lámina de agua y la variabilidad estacional del nivel freático influyen directamente en el confinamiento efectivo (σ′c), modificando la forma de las curvas dinámicas G/Gmax(γ) y D(γ). Sin embargo, ensayos dinámicos especializados, como columna resonante o corte simple cíclico, no siempre son viables debido a limitaciones de infraestructura y disponibilidad técnica en la región.

Ante este escenario, los modelos tipo Masing modificado constituyen una alternativa práctica, al permitir estimar las propiedades dinámicas del suelo a partir de parámetros geotécnicos accesibles, como el índice de plasticidad (IP), y del estado tensional efectivo. Este enfoque posibilita construir curvas dinámicas locales representativas, adecuadas para estudios de respuesta sísmica e interacción suelo–estructura.

En el presente estudio se siguió un procedimiento sistemático y reproducible: (i) ejecución de quince calicatas de hasta 3 m en cinco tramos (T1 - T5), con medición de nivel freático; (ii) obtención de IP, granulometría, Gs, contenido de humedad y densidades natural y saturada; (iii) cálculo de σ′c mediante análisis geostático; (iv) estimación de curvas G/Gmax(γ) y D(γ) mediante el modelo Masing modificado; y (v) derivación de parámetros equivalentes (Geq, Deq) a niveles de deformación compatibles con respuesta de sitio (γ = 0.01 %, 0.10 % y 0.50 %).

El estudio respondió a la necesidad de estimar de forma confiable y aplicable las propiedades dinámicas de las arcillas ribereñas de Yarinacocha usando información disponible y metodologías accesibles. Los objetivos incluyeron: caracterizar el sitio según rangos de IP y proponer curvas locales; evaluar la transferibilidad de curvas entre tramos

con condiciones comparables; y derivar parámetros equivalentes diferenciados por estrato para su uso directo en análisis sísmicos.

Los principales aportes son: (1) curvas dinámicas y parámetros equivalentes específicos del sitio, más representativos que valores genéricos; (2) una metodología trazable basada en parámetros físicos del suelo; y (3) entregables compatibles con software de análisis sísmico. Las limitaciones se relacionaron con la ausencia de ensayos dinámicos avanzados y la variabilidad del nivel freático, compensadas mediante análisis de sensibilidad.

# CAPÍTULO I

# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción y fundamentación del problema

El panorama global de la respuesta sísmica en suelos cohesivos, depende de la degradación del módulo de corte y del crecimiento del amortiguamiento con la deformación cíclica. La evidencia experimental acumulada (columna resonante y torsión cíclica) muestra que las curvas G/Gmax(γ) y D(γ) son fuertemente no lineales y que su forma está controlada, entre otros factores, por la plasticidad y el estado tensional efectivo. La práctica de ingeniería requiere, por tanto, parametrizaciones reproducibles que permitan representar la rigidez a pequeñas deformaciones y su degradación compatible con el rango de deformaciones de diseño, especialmente cuando el acceso a laboratorios dinámicos es limitado.

Desde los trabajos fundacionales de Hardin y Drnevich (1972) y Seed y Idriss (1970), se reconoce que el módulo de corte a pequeñas deformaciones Gmax (y su degradación con γ) así como el amortiguamiento equivalente son parámetros clave para análisis de respuesta en 1D/2D y para estimar rigideces/amortiguamientos equivalentes en modelos estructurales. Estos autores establecieron ecuaciones de diseño y curvas tipo que, aunque útiles, no capturan particularidades locales de arcillas con IP elevado y condiciones tensionales específicas como las de Yarinacocha.

En arcillas, la plasticidad controla la forma de G/Gmax(γ) y D(γ). El estudio clásico de Vucetic y Dobry (1991) demostró que, al aumentar el IP, la respuesta cíclica tiende a ser más lineal en el rango de pequeña deformación y la degradación de G a grandes γ es menor que en suelos de baja plasticidad; de modo concomitante, la

evolución de D con γ también cambia con el IP. Esto respalda la necesidad de calibración local en arcillas lacustres como las de Yarinacocha.

Para reconstruir bucles histéréticos y representar la no linealidad cíclica del suelo (clave si se quieren rigideces y amortiguamientos “compatibles” con la deformación), la práctica geotécnica emplea reglas tipo Masing; su exposición estándar en la literatura de dinámica de suelos aparece, entre otros, en Ishihara (1996). Estas reglas permiten relacionar área de bucle con amortiguamiento equivalente y derivar las curvas de descarga/recarga a partir de un backbone τ(γ).

En numerosos emplazamientos aluviales y lacustres de América Latina - con niveles freáticos someros y depósitos finos - los estudios de respuesta de sitio 1D se apoyan en curvas normalizadas obtenidas por correlaciones y modelos constitutivos simplificados. Cuando no hay ensayos dinámicos locales, la transferencia de curvas desde bibliografía internacional es habitual, pero conlleva incertidumbre si el índice de plasticidad (IP) y el confinamiento efectivo (σ′c) del suelo real difieren de los casos de referencia. Por ello, cobra valor una ruta basada en índices y geostática que permita calibrar localmente las curvas con insumos obtenibles en campañas de campo y laboratorio estándar.

No obstante, levantar G/Gmax(γ) y D(γ) con ensayos dinámicos dedicados (columna resonante, torsión cíclica) suele ser costoso y poco disponible en muchos laboratorios regionales. Allí cobra valor un enfoque de modelación que requiera insumos mínimos (índices, consolidación y estado tensional) y que incorpore explícitamente la plasticidad. En esa línea, González Blandón y Romo (2011) propusieron un procedimiento tipo Masing modificado para arcillas normalmente consolidadas: (i) modelar en forma independiente el módulo y el amortiguamiento; (ii) emplear dos deformaciones de referencia distintas γrG y γrλ (puntos de inflexión de cada curva), y (iii) parametrizar la geometría de las curvas con constantes BG y Bλ

que dependen del IP. El trabajo muestra correlaciones y validación frente a datos experimentales (columna resonante y triaxial cíclico) en arcillas lacustres y marinas, logrando coeficientes de ajuste altos, y amplía la aplicabilidad del enfoque respecto del Masing “clásico”.

En el marco normativo peruano (NTE E.030), si bien la norma regula el diseño sismorresistente y sugiere procedimientos para definir acciones sísmicas y zonificación, la caracterización geotécnica local y la respuesta de sitio requieren propiedades de suelo realistas; por tanto, contar con curvas dinámicas calibradas para los suelos arcillosos de Yarinacocha fortalece la trazabilidad de las decisiones de diseño respecto a adoptar valores genéricos.

En síntesis, el problema que aborda esta tesis es la ausencia de curvas dinámicas locales G/Gmax(γ) y D(γ) para las arcillas de la ribera del lago de Yarinacocha, lo que conduce a incertidumbre en la amplificación de sitio y en los parámetros equivalentes que ingresan a modelos de interacción suelo–estructura. Dado el costo/acceso limitado a ensayos dinámicos, se justifica desarrollar y calibrar un esquema de modelación tipo Masing modificado, sensibilizado al IP y al estado tensional y soportado por insumos accesibles (índices y triaxial), con reportes explícitos de incertidumbre. Este enfoque es consistente con la evidencia científica sobre (a) la dependencia con la plasticidad y (b) la construcción de histéresis basada en Masing, y aporta propiedades dinámicas locales útiles para respuesta de sitio 1D y para derivar rigideces/amortiguamientos equivalentes en modelos estructurales.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema general

- ¿Cómo estimar, mediante un modelo Masing modificado, las propiedades dinámicas del suelo (rigidez y amortiguamiento en función de la deformación cortante) de las arcillas de la ribera del lago Yarinacocha,

usando parámetros geotécnicos accesibles y representativos del estado de esfuerzos in situ?

### 1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cómo caracterizar la variación del índice de plasticidad (IP) y del confinamiento efectivo (σ′c) en los distintos tramos de la ribera del lago Yarinacocha?
- ¿Cómo generar curvas dinámicas representativas de rigidez relativa (G/Gmax) y amortiguamiento (D) para cada tramo, a partir del índice de plasticidad (IP) y del confinamiento efectivo (σ′c)?
- ¿Cómo derivar y organizar valores de rigidez y amortiguamiento equivalentes por estrato, en formatos de uso directo para análisis de respuesta sísmica 1D e interacción suelo–estructura?

## 1.3. Objetivos de la investigación

### 1.3.1. Objetivo general

- Estimar las propiedades dinámicas del suelo (rigidez y amortiguamiento en función de la deformación cortante) de las arcillas de la ribera del lago Yarinacocha mediante un modelo Masing modificado.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la variación del índice de plasticidad (IP) y del confinamiento efectivo (σ′c) por tramo, considerando la influencia del nivel freático y las condiciones estratigráficas locales.
- Generar curvas dinámicas representativas de rigidez relativa (G/Gmax) y amortiguamiento (D) para cada tramo, basadas en el IP y σ′c determinados.

- Derivar y organizar por estrato los parámetros equivalentes de rigidez y amortiguamiento en tablas y formatos de uso directo, aptos para respuesta de sitio e interacción suelo–estructura en Yarinacocha.

## 1.4. Justificación e importancia

### 1.4.1. Justificación práctica

- **Necesidad local:** En la ribera del lago Yarinacocha se utilizan con frecuencia curvas genéricas para representar la rigidez y el amortiguamiento del suelo. Eso introduce incertidumbre en la respuesta de sitio y en la interacción suelo–estructura de obras ribereñas.
- **Aplicabilidad directa:** El estudio entrega curvas locales y parámetros equivalentes por estrato (rigidez y amortiguamiento) en tablas y formatos de uso para proyectos de cimentaciones, muros de contención, tanques, puentes y edificaciones próximas a la laguna.
- **Optimización de recursos:** La metodología prescinde de ensayos dinámicos costosos, apoyándose en datos accesibles. Esto facilita su adopción por oficinas locales y laboratorios universitarios.

### 1.4.2. Justificación teórica

- **Ajuste a la naturaleza no lineal:** La rigidez y el amortiguamiento del suelo dependen de la deformación cortante y de la plasticidad; representar esta no linealidad con un esquema Masing modificado permite reconstruir histéresis y curvas de descarga/recargas coherentes con la física del material.
- **Pertinencia para arcillas lacustres:** La plasticidad y el estado tensional condicionan la forma de las curvas. Calibrar el modelo a condiciones locales mejora la representatividad frente a bibliografías generales.

- **Contribución documental:** Se sistematizan supuestos**,** rango de validez y bandas de incertidumbre, aportando trazabilidad para estudios posteriores en Ucayali u otras cuencas similares.

### 1.4.3. Justificación metodológica

- **Ruta de bajo costo y reproducible:** El cálculo geostático del confinamiento efectivo, combinado con clasificación por rangos de plasticidad, entrega una ruta clara y replicable para estimar curvas de rigidez y amortiguamiento cuando no hay equipos dinámicos disponibles.
- **Criterios operativos verificables:** Se definen umbrales de calidad del ajuste (p. ej., NRMSE para rigidez, MAE para amortiguamiento) **y** criterios de validez espacial (transferibilidad entre segmentos con condiciones comparables), lo que favorece la evaluación objetiva de resultados.
- **Productos estandarizados:** La salida en tablas y formatos de uso directo (por estrato y por rango de plasticidad) conecta el resultado académico con el flujo de trabajo de ingenieros de proyecto y revisores.

### 1.4.4. Importancia de la investigación

- **Para el diseño sismorresistente local**: Proveer propiedades dinámicas calibradas reduce la incertidumbre de los análisis, contribuyendo a decisiones de diseño más seguras y eficientes en el entorno de Yarinacocha.
- **Para la gestión pública y la academia**: Ofrece una metodología documentada que puede incorporarse en guías locales, apoyar planes de desarrollo urbano y servir como base docente en cursos de mecánica de suelos y geotecnia sísmica.

- **Para futuras investigaciones:** Deja una línea base de curvas locales y un protocolo de validación que podrá ampliarse con nuevos datos (por ejemplo, Vs puntual, oedométrico, o contrastes con registros de campo), fortaleciendo el ecosistema de conocimiento en la región.

## 1.5. Limitaciones y alcances

### 1.5.1. Limitaciones

- **Sin ensayos dinámicos dedicados:** No se realizan columna resonante ni torsión cíclica; las curvas de rigidez y amortiguamiento se estiman mediante modelación Masing modificada con datos accesibles.
- **Representatividad espacial limitada:** Los resultados son válidos para segmentos de la ribera con condiciones comparables (rango de IP, perfil tensional y nivel freático). No se extrapola fuera de estos criterios sin verificación adicional.
- **Resolución estratigráfica finita:** La clasificación por rangos de IP y la asignación por estratos se basan en el detalle muestral disponible; capas delgadas o transiciones bruscas podrían no quedar plenamente capturadas.
- **Validación indirecta:** La calidad del ajuste se evalúa con métricas estadísticas (NRMSE, MAE, $R^2$) y análisis de **s**ensibilidad, no con contrastes directos frente a bucles histéréticos medidos.

### 1.5.2. Alcances

- **Ámbito geográfico:** Ribera del lago Yarinacocha (Ucayali), en sectores definidos en el capítulo de área de estudio.
- **Ámbito temporal:** Campaña y procesamiento 2025 (condiciones de sitio correspondientes al período de estudio).

- **Productos técnicos**
  - ✓ Curvas locales de rigidez relativa y amortiguamiento equivalente por rango de IP y por estrato.
  - ✓ Parámetros equivalentes de uso directo (rigidez y amortiguamiento por estrato) en tablas/formatos para respuesta de sitio e interacción suelo–estructura.
  - ✓ Criterios de validez espacial para transferibilidad entre segmentos con condiciones comparables.
- **Metodología aplicable:** Protocolo reproducible basado en cálculo geostático del confinamiento efectivo, clasificación por IP y Masing modificado, con reporte de incertidumbre (bandas y métricas).
- **Uso previsto:** Insumo para estudios geotécnicos locales, diseño sismorresistente en el entorno de Yarinacocha y línea base para investigaciones futuras.

## 1.6. Hipótesis y/o sistema de hipótesis

### 1.6.1. Hipótesis general

- **H.G.:** El modelo Masing modificado permite estimar de manera consistente las curvas de rigidez relativa ($G/G_{max}$) y amortiguamiento (D) de las arcillas de la ribera de Yarinacocha en el rango de deformaciones asociado a la respuesta sísmica del sitio.

### 1.6.2. Hipótesis específicas

- **H1**: La variación del índice de plasticidad (IP) y del confinamiento efectivo (σ′c) entre tramos genera diferencias consistentes en la rigidez inicial del suelo y en el grado de ablandamiento con la deformación cortante.

- **H2**: Las curvas dinámicas generadas para cada tramo mostrarán una degradación monotónica de la rigidez (G/Gmax) y un incremento progresivo del amortiguamiento (D) con la deformación cortante, coherentes con el comportamiento de arcillas de plasticidad media bajo confinamiento efectivo típico de ambientes ribereños.
- **H3**: Los parámetros equivalentes de rigidez (Geq) y amortiguamiento (Deq) derivados por estratos proporcionarán valores representativos y operativos para análisis de respuesta de sitio e interacción suelo–estructura, mostrando mayor pertinencia que valores genéricos no locales.

## 1.7. Sistema de variables, dimensiones e indicadores

### 1.7.1. Variable dependiente

- ✓ Propiedades dinámicas del suelo

### 1.7.2. Variable independiente

- ✓ Índice de plasticidad (IP)
- ✓ Confinamiento efectivo
- ✓ Nivel freático (N.F.)
- ✓ Estrato / sector
- ✓ Estado físico del suelo

**Tabla 1**. *Operacionalización de las variables*

| Variable | Dimensión | Indicador | Definición operacional | Unidad | Escala | Instrumento / Fuente de datos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| VD: Propiedades dinámicas del suelo | Rigidez relativa | G/Gmax(γ) | Valor de rigidez normalizada obtenido mediante el modelo Masing modificado en función de la deformación cortante (γ) | adimensional | Continua | Script del modelo (Python) |
| VD: Propiedades dinámicas del suelo | Amortiguamiento material | D(γ) | Amortiguamiento histerético equivalente obtenido de la curva dinámica Masing modificada | % | Continua | Script del modelo (Python) |
| VI: Índice de plasticidad (IP) | Plasticidad | IP (%) | Obtenido con Límites de Atterberg (LL − LP). Variable independiente de entrada del modelo. | % | Continua | Ensayo de Atterberg (Casagrande) |
| Interviniente: Estado tensional efectivo | Estado tensional efectivo | σ′c (kPa; kg/cm²) | Calculado a 3.0 m con: γ_húm, γ_sat, NF, $K_0$. Fórmulas: σ′v, u, σ′h y σ′c=(σ′v+2σ′h)/3. | kPa; kg/cm² | Continua | Cálculo geostático (perfil tensional) |
| Control: Nivel freático (NF) | Hidrogeología local | Profundidad NF (m) | Medición/observación en calicata; si NF>3 m, se registra “NF>3 m (no interceptado)”. | m | Continua | Registro de campo / ficha estratigráfica |
| Control: Condición física del suelo | Densidad / humedad | γ_húm, γ_sat, w, Gs | γ_húm y γ_sat por cálculo; w (D2216) y Gs adoptado 2.70 (arcillas ribereñas locales). Insumos geostáticos. | kN/m³; %; – | Continua | Balanza, horno (D2216), picnómetro, planilla de cálculo |
| Control: Segmento geotécnico | Tramo | T1 – T5 | Agrupación espacial para curvas representativas y envolventes | _ | Categórica | Registro de campo, ubicación geográfica, croquis / SIG |

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 2**.*Productos derivados (outputs)*

| Variable | Dimensión | Indicador | Definición operacional | Unidad | Escala | Instrumento / Fuente de datos |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Producto derivado del modelo | Parámetros equivalentes | Geq y Deq a γ=0.01%, 0.10%, 0.50% | Valores equivalentes por estrato (0–1, 1–2, 2–3 m) y por tramo, obtenidos de las curvas G/Gmax(γ) y D(γ) mediante promediado logarítmico/ponderaciones. Uso: respuesta sísmica 1D. | kg/cm² (Geq), % (Deq) | Continua | Planilla de derivación / script Python |
| Producto derivado del modelo | Curvas representativas | Envolventes por tramo y general | Curvas G/Gmax(γ) y D(γ) representativas por tramo (T1–T5) y envolvente global, construidas a partir de las curvas por calicata. | – | – | Planilla de derivación / script Python |
| Producto derivado del modelo | NF ±0.50 m | Δσ′c (%), ΔGeq (%), ΔDeq (p.p.), MAE[G/Gmax], MAE[D] | Re-cálculo con z_w±0.50 m; comparación con el caso base. MAE sobre γ∈[0.01 - 0.50 %]. | %, p.p., adim. | Continua | Tabla 15 |
| Producto derivado del modelo | $K_0$ = 0.50 - 0.60 | Δσ′c (%), ΔGeq (%), ΔDeq (p.p.), MAE[G/Gmax], MAE[D] | Re-cálculo con $K_0$=0.50 y 0.60 (NF base) y comparación con $K_0$=0.55. | %, p.p., adim. | Continua | Tabla 16 |

Fuente: Elaboración propia

Nota. Los ítems rotulados como “Control”, no son variables explicativas sino parámetros de sitio adoptados/medidos que intervienen en el cálculo geostático de σ′c. Los renglones bajo “Producto derivado”, corresponden a resultados obtenidos a partir de la VD (curvas $G/G_{max}$ y D), por ello no se consideran dimensiones de la VD sino outputs del estudio (véase Cap. V: Secciones V.4–V.5).

# CAPÍTULO II

# MARCO TEÓRICO

## 2.1. Antecedentes de la investigación

### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Mayoral et al. (2025), “The seismic response of Mexico City’s high plasticity clays during extreme earthquakes”. El objetivo fue analizar la respuesta sísmica de arcillas de alta plasticidad ante eventos extremos; la metodología combinó registros sísmicos, modelación no lineal equivalente calibración de curvas módulo - amortiguamiento dependientes del IP; los resultados mostraron que el uso de curvas calibradas por plasticidad modifica de forma significativa la demanda de sitio en arcillas lacustres blandas, recomendando emplear curvas locales cuando exista información de IP y confinamiento.

Gaudiosi et al. (2023), “A curated dataset of normalized shear modulus reduction and damping curves for soils”. Estudio cuyo objetivo fue compilar y depurar una base de datos internacional de curvas normalizadas $G/G_{max}(\gamma)$ y $D(\gamma)$; metodológicamente realizaron minería bibliográfica, control de calidad, normalización y documentación de metadatos (tipo de suelo, IP, estado tensional) para cada curva; como resultado publicaron un repositorio trazable que permite comparar y validar curvas locales frente a familias ampliamente documentadas.

Mayoral et al. (2019) investigaron la “Respuesta sísmica de arcillas de alta plasticidad durante eventos extremos”

Su estudio que se realizó cerca del valle de la ciudad de México se centró en analizar el comportamiento no lineal de suelos arcillosos con

características de plasticidad alta ante acciones sísmicas extremas, donde utilizaron modelos matemáticos prácticos para ajustar las curvas que se obtienen experimentalmente. Estas curvas describen comportamiento dinámico del módulo de rigidez al esfuerzo cortante y la relación de amortiguamiento, resaltando lo importante de tener en cuenta la no linealidad de arcillas plásticas.

Castillo (2019) en su investigación “Calibración de parámetros para modelación dinámica de los suelos”

Estudio realizado en Barranquilla – Colombia, cuyo objetivo general fue estudiar la calibración de modelaciones constitutivas que predicen su comportamiento ante esfuerzos cíclicos, para evaluar incertidumbre, correlaciones y parámetros. Además, proyectó específicamente establecer parámetros de ingreso al modelo que se puedan ajustar a los resultados experimentales de laboratorio.

González-Blandón y Romo (2011) investigaron la estimación de propiedades dinámicas en arcillas mediante un esquema Masing modificado. Con insumos accesibles (propiedades índices y estado tensional) ajustaron por separado las curvas de rigidez relativa y amortiguamiento equivalente, validándolas frente a datos experimentales. Su propuesta evidencia que es viable prescindir de equipos dinámicos especializados cuando se documentan supuestos y se reporta incertidumbre.

Darendeli (2001) consolidó una base de datos amplia de ensayos para desarrollar una familia normalizada de curvas de reducción de módulo y amortiguamiento, incorporando el estado tensional y propiedades índice. Su propuesta, validada con comparaciones estadísticas y aplicada a respuesta

de sitio, se convirtió en referencia práctica para proyectos que requieren curvas compatibles con la deformación.

Ishihara (1996) presentó una síntesis del comportamiento del suelo en sismogeotecnia y difundió el uso de reglas tipo Masing para reconstruir bucles histéréticos a partir de un backbone. Esta formulación permite relacionar el área del bucle con el amortiguamiento equivalente y obtener trayectorias de descarga/recargas coherentes con la física de materiales granulares y cohesivos.

Vucetic y Dobry (1991) analizaron suelos arcillosos con diferentes índices de plasticidad y demostraron que la plasticidad controla la forma de las curvas dinámicas: a mayor IP, la degradación de rigidez es más lenta y el amortiguamiento evoluciona de manera distinta con la deformación. A partir de ensayos cíclicos, propusieron familias de curvas dependientes del IP, subrayando la necesidad de calibraciones específicas para arcillas plásticas.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

Ortiz Salas (2025) desarrolló una tesis de maestría enfocada en la evaluación de características dinámicas de suelos peruanos para la estimación de espectros de diseño, usando metodologías de respuesta de sitio y conjuntos de curvas dependientes de la deformación. Su estudio mostró que la adopción de propiedades calibradas respecto al tipo de suelo puede modificar de manera significativa la demanda sísmica considerada en proyecto.

Barrientos Hanco (2023), “Estudio de microzonificación sísmica para la reducción del riesgo de desastres en la Ciudad Universitaria de Perayoc–Cusco, 2022”. El objetivo fue zonificar condiciones de sitio para gestión del riesgo; se aplicó metodología instrumental H/V (ruido ambiental), estimación

de periodos fundamentales y amplificaciones, y elaboración de mapas; los resultados evidenciaron variabilidad espacial de T y $A_0$, reforzando que el diseño sismorresistente requiere propiedades dinámicas locales coherentes con la estratigrafía.

"Características geomecánicas del suelo de relleno controlado para cimentaciones, Pucallpa–Perú" (2022). El objetivo fue caracterizar propiedades físicas y mecánicas de suelos de relleno locales para su uso en cimentaciones; la metodología incluyó ensayos de laboratorio estándar (humedad, densidades, granulometría, límites de consistencia y resistencia) comparando rellenos controlados vs. no controlados; se obtuvieron pesos unitarios y contenidos de humedad representativos de la Amazonía peruana, útiles como línea base para cálculos geostáticos regionales.

Valentin (2019) en su tesis "Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019".

Investigación realizada en el distrito de Catahuasi, provincia de Yuyos, departamento de Lima, el cual tuvo como objetivo la implementación de módulo resilente para estimar las propiedades dinámicas del suelo de la zona de estudio para diseñar subrasante, concluyendo que se puede calcular de forma precisa las características dinámicas del suelo utilizando el ensayo triaxial carga dinámica.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). En el contexto peruano, la Norma Técnica E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones enfatiza la caracterización del sitio y la adecuada selección de propiedades dinámicas del suelo para el diseño sismorresistente. El documento orienta a emplear parámetros representativos del terreno y,

cuando sea pertinente, realizar análisis de respuesta de sitio, reforzando la pertinencia de contar con curvas locales frente a compilaciones genéricas.

### 2.1.3. Antecedentes locales

Copa & Hinojosa (2023) en su investigación “Zonificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y capacidad portante para la construcción de viviendas unifamiliares en los centros poblados de San José y San Juan de Yarinacocha-Ucayali”.

Su objetivo principal fue realizar la zonificación de tipos de suelos y capacidad portante en los pueblos de San Juan y San José del distrito de Yarinacocha – Ucayali a través de ensayos de laboratorio que describen sus características mecánicas y físicas, concluyendo que en la zona de estudio predominan suelos arcillosos de alta y baja plasticidad con capacidad portante por debajo de 1.0 kg/cm².

Arévalo & Villegas (2021) en su investigación “Análisis de suelos arcillosos para el diseño de cimentaciones piloteadas en malecón San José, Laguna de Yarinacocha, Ucayali – 2020”.

Tuvieron como objetivo general analizar los depósitos de suelos arcillosos realizando ensayos de laboratorio SPT (Ensayo de Penetración Estándar) para posteriormente proponer diseño de cimentaciones poco profundas. Asimismo, determinaron la clasificación del suelo, sus límites de consistencia y su capacidad portante de la zona de estudio, concluyendo que predominan suelos arcillosos con alta y baja plasticidad.

INGEMMET (2008) documentó el marco geomorfológico e hidrogeológico de Ucayali, incluyendo la Laguna de Yarinacocha como antiguo meandro del río Ucayali. El boletín ofrece información útil para definir niveles freáticos y escenarios estacionales, insumos necesarios para el

cálculo geostático del confinamiento efectivo que se empleará en esta investigación.

De la Cruz Vega et al. (2022); López et al. (2022). Estudios geotécnicos recientes en Pucallpa y Yarinacocha reportan arcillas de plasticidad media a alta, contenidos de humedad elevados y variabilidad estratigráfica propia de depósitos lacustres y aluviales. Estos trabajos, aunque orientados a capacidad portante o mejoramiento de suelos, aportan propiedades índices y pesos unitarios que sirven de línea base para agrupar por rangos de IP y delimitar la validez espacial de curvas dinámicas estimadas para la ribera.

## 2.2. Bases teóricas

- **Propiedades dinámicas de suelos**

Alva (2020). Son las características propias de un suelo que definen su comportamiento ante la acción de cargas dinámicas. Estas características ayudan a resolver problemas de obras civiles que comprenda analizar respuestas de sitio, capacidad de resistencia dinámica, estabilidad de taludes ante acciones eventos sísmicos, etc. Las propiedades dinámicas más estudiadas son el amortiguamiento ($\lambda$) y la rigidez al esfuerzo cortante ($G$) que varía con respecto a la deformación angular ($\gamma$), asimismo la velocidad ($V_s$) de onde de corte.

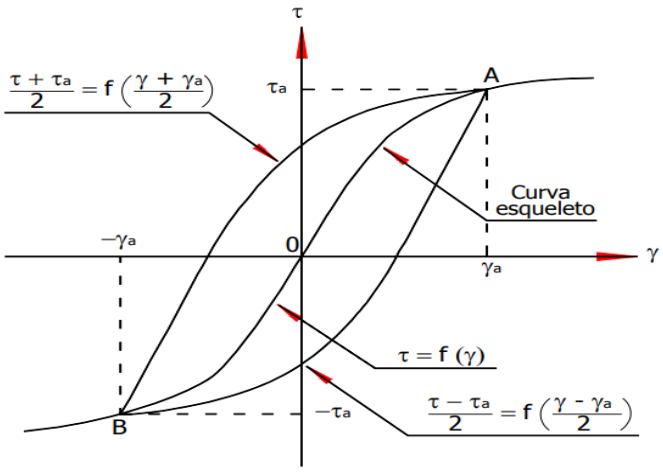
Kramer (1996). El suelo se comporta diferente ante deformaciones grandes y pequeñas, pudiendo ser medido a través de ensayos de laboratorio y de campo.

- **Regla de Masing**

Gonzáles (2005). Es la representación de dos curvas con el mismo significado físico “visco-elástico”, que describen el comportamiento no lineal de un depósito de suelo a causa niveles de deformaciones grandes. Estas curvas son denominadas “curva esqueleto” y “ciclo de histéresis”.

**Figura 1**

*Regla de Masing*




Ishihara (1996)

- **Modelo tipo Masing modificado**

González (2005). Es el modelo matemático que se emplea para representar gráficamente el comportamiento no lineal de la Rigidez al esfuerzo cortante ($G$) respecto a la deformación del suelo ($\gamma$) y el amortiguamiento ($\lambda$) respecto a la deformación del suelo ($\gamma$), el cual considera como hipótesis lo siguiente:

- ✓ Si el amortiguamiento de forma histerético tiene la capacidad de mitigar el fragmento transitorio en pocas fases, entonces el suelo sometido a esfuerzos armónicos garantiza estabilidad.
- ✓ Ante cada cambio de sentido de carga, la rigidez del depósito de suelo tiende a regresar a máximo valor.
- ✓ El tipo de amortiguamiento es histerético.

Investigadores como Flores et. Al. (1999) y Romo (1990,1995), propusieron expresiones para este modelo con las siguientes ecuaciones:

$$G = (G_{max}\text{-}G_{min}) * H(\gamma) + G_{max} \quad (1)$$

$$\lambda = (\lambda_{max}\text{-}\lambda_{min}) * H(\gamma) + \lambda_{min} \quad (2)$$

$$H(\gamma) = \left[\frac{(\frac{\gamma}{\gamma_r})^{2B}}{1+(\frac{\gamma}{\gamma_r})^{2B}}\right]^{A} \quad (3)$$

Donde "$\gamma_r$", se refiere a una deformación referencial donde se degrada la Rigidez al esfuerzo cortante ($G$); asimismo "A" y "B" se refiere a los parámetros que describe la geometría curvilínea de las relaciones Rigidez al esfuerzo cortante-deformación del suelo y amortiguamiento-deformación del suelo, que están en función principalmente del índice de plasticidad (IP).

- **Límites de Atterberg**

Son los puntos de transición del contenido de humedad del suelo que se expresa en porcentajes al pasar de un estado a otro, cuando ocurre el cambio de estado sólido a semisólido, de semisólido.

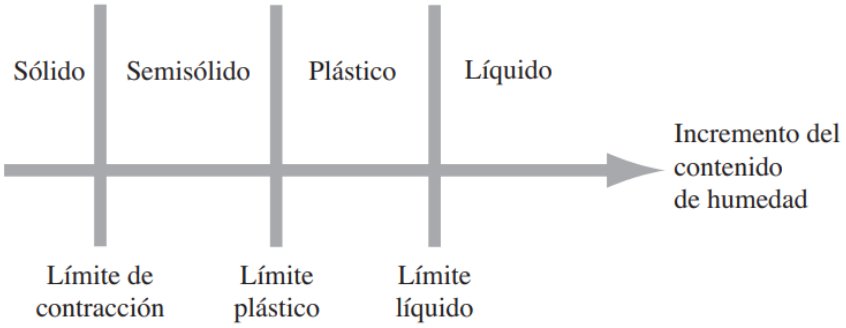
**Límite de contracción (SL):** Das (2014). Es el estado de transición cuando el contenido de humedad del suelo pasa del estado sólido a semisólido.

**Límite de plástico (LP):** Das (2014). Es el estado de transición cuando el contenido de humedad del suelo pasa del estado semisólido a plástico.

**Límite de líquido (LL):** Das (2014). Es el estado de transición cuando el contenido de humedad del suelo pasa del estado plástico a líquido.

**Figura 2**

*Límites de Atterberg*



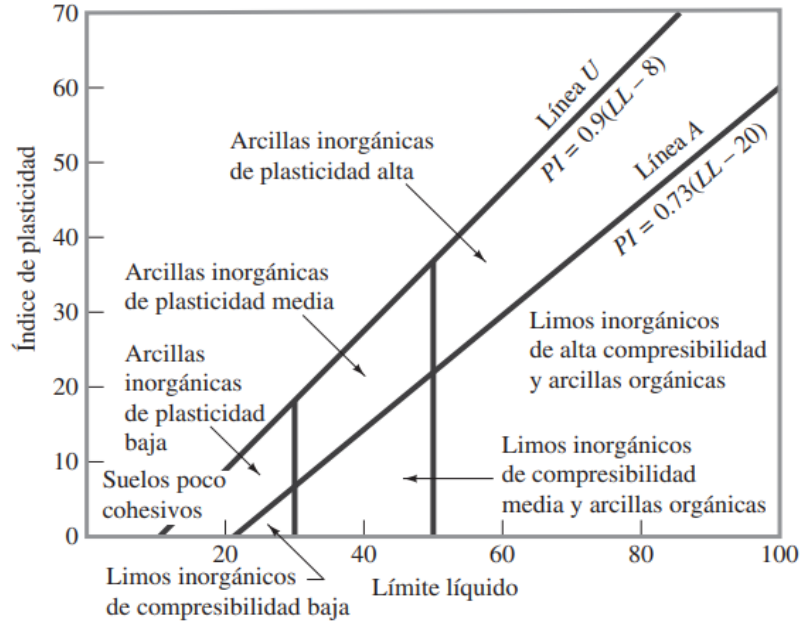

Das (2014)

- **Índice de plasticidad (IP)**

Das (2014). Es la resta entre el límite líquido y límite plástico, expresado en porcentaje (%), es decir, %PI = % (LL – PL). Casagrande (1932) propuso una carta de plasticidad que a la fecha es de gran utilidad que sirve como base para clasificar suelos finos en el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

**Figura 3**

*Carta de plasticidad*




Das (2014)

La Norma Técnica Peruana NTP 339.129: 1999 (revisada el 2019) “SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos. 1ª Edición”, establece métodos de ensayos de laboratorio que sirven para la determinación de los límites plástico, líquido y el índice de plasticidad mediante el ensayo de copa de Casagrande.

- **Esfuerzo efectivo ($\sigma'$)**

Das (2014). Los suelos están conformados por partículas sólidas conteniendo espacios vacíos que son ocupados por aire, agua o la combinación de estos. El

esfuerzo efectivo es fuerza que se aplica a la parte sólida del suelo por unidad de área a una profundidad determinada.

- **Modelo No lineal**

Alva (2020). Es la representación gráfica de esfuerzo con relación a la deformación que describe curvas en formas hiperbólicas, producto de resultados experimentales en laboratorios a aplicarse una cierta cantidad de cargas cíclicas a un depósito de suelo.

- **Muestras representativas**

Es establecido a través de procedimientos indicados en la NTP 339.089: 1998 (revisada el 2019) “SUELOS. Obtención en laboratorio de muestras representativas (cuarteo). 2ª Edición”, indicando la muestra necesaria para realizar los ensayos en el laboratorio, de tal forma que sea una representación de la muestra total extraída en campo. Es muy importante seguir el procedimiento señalado en la presente norma, para no obtener muestras que sean distorsionadas.

- **Consolidación unidimensional de suelos**

La Norma Técnica Peruana NTP 339.154: 2001 (revisada el 2015), “SUELOS. Método de ensayo normalizado para propiedades de consolidación unidimensional de suelos”, desarrolló un método de ensayo de laboratorio de que establece procedimientos para estimar la velocidad de consolidación y magnitud del suelo cuando llega a confinarse lateralmente y se encuentra drenado axialmente, mientras se sujeta a esfuerzos controlados que se van incrementando poco a poco.

- **Arcilla (Suelo arcilloso)**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) lo define como aquel suelo fino que muestra plasticidad, con una resistencia considerable cuando se encuentra seco al aire. (p. 6).

- **Cámara triaxial cíclica**

Gonzáles (2005). Equipo de ensayo de laboratorio utilizado para estimar la Rigidez al esfuerzo cortante $(G)$ y amortiguamiento $(\lambda)$, estableciendo amplitudes de deformaciones de orden $10^{-3}$% a $10^{2}$%. El procedimiento consiste en colocar un espécimen en el equipo, saturarlo, consolidarlo y posteriormente aplicar esfuerzo axial cíclico en forma senoidal de manera periódica controlando su frecuencia.

- **Columna resonante**

Gonzáles (2005). Equipo de ensayo de laboratorio utilizado para estimar $G$ y $\lambda$, estableciendo amplitudes de deformaciones de orden $10^{-4}$% a $10^{-2}$%. El procedimiento consiste en aplicar a un espécimen de suelo de geometría cilíndrica vibración torsional inducida, controlando y variando la excitación hasta que la muestra alcance el estado de resonancia.

- **Consistencia**

La NTP 339.129: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) menciona que “es la relativa facilidad con la cual un suelo puede ser deformado” (p. 3).

- **Consolidación**

Garzón & Gerena (2016). Es aquel estado en el que una muestra de suelo alcanza el equilibrio, con el fin de obtener característica isotrópica al aplicarse una carga perpendicular a la sección transversal del espécimen.

- **Contenido de humedad (contenido de agua)**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) menciona que “es la relación expresada como porcentaje de (1), el peso del agua en una masa dada de suelo a (2) el peso de las partículas” (p. 14).

- **Ensayo de consolidación**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es un ensayo en el cual un espécimen es confinado lateralmente en un anillo y es comprimido entre piedras porosas” (p. 21).

- **Ensayo de esfuerzo controlado**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es un ensayo en el cual el esfuerzo es aplicado a una velocidad controlada” (p. 22).

- **Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)**

Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018). Conjunto de investigaciones, ensayos de laboratorio, exploraciones de campo, que culminan en un análisis de gabinete, cuyo objetivo es estimar cómo será el comportamiento y respuesta de un determinado suelo ante acciones dinámicas y estáticas.

- **Excitación (Estimulo)**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es una fuerza externa (u otro tipo de energía) aplicada a un sistema que origina una respuesta similar del sistema” (p. 26).

- **Interacción suelo – estructura**

Calderín-Mestre et al. (2020). Se refiere a la respuesta que tiene una estructura ante acciones sísmicas del terreno, según las características propias del depósito de suelo.

- **Licuación**

Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018). Fenómeno que ocasiona colapso, hundimiento y falla general de estructuras, causado por acciones sísmicas en suelos con características granulares y a la vez sumergidos, que, por

incremento de presión de agua, ocasiona significativamente la rigidez de dicho suelo y por ende su capacidad de carga.

- **Microzonificación Sísmica**

Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2016). Consiste en una serie de investigaciones que involucran una variedad de especialidades, con la finalidad de estudiar fenómenos que ocurren en los suelos a causa de sismos, como licuación, deslizamientos y otros, según la especialidad de interés.

- **Módulo de rigidez** $(G)$

Garzón & Gerena (2016). También conocido como módulo dinámico del suelo. Es aquella constante que mide la dureza del suelo relacionando el esfuerzo cortante y la deformación al cortante del suelo.

- **Muestra no disturbada o inalterada**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) lo define como aquella muestra de suelo obtenida por procedimientos estandarizados donde se ha previsto las medidas necesarias para evitar alterar la muestra del suelo (p. 40).

- **Plasticidad**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es la propiedad del suelo que le permite ser deformado más allá del punto de recuperación sin agrietamiento o sin apreciable cambio de volumen” (p. 46).

- **Perfiles de suelo**

Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2016). Tipos de suelos que se clasifican de acuerdo a su velocidad de propagación de ondas de corte, su resistencia al corte cuando se encuentra no drenada y el promedio de los ensayos de penetración estándar (SPT).

- **Resistencia al corte**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es la máxima resistencia de un suelo a los esfuerzos cortantes” (p. 51).

- **Rigidez**

La NTP 339.136: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es la relación del cambio de fuerza (o torque) al correspondiente cambio de deflexión (o rotacional) de un elemento elástico” (p. 51).

- **Suelo plástico**

La NTP 339.129: 1999 (revisada el 2019), INACAL (2019) define que “es un suelo que tiene un rango de contenido de humedad sobre el cual exhibe plasticidad y sobre el cual mantendrá su forma bajo secado” (p. 4).

- **Zonificación**

Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2016). Es la distribución del territorio de acuerdo a la sismicidad, las ocurrencias sísmicas características de cada zona y su mitigación relacionado a la distancia con el epicentro.

# CAPÍTULO III

# METODOLOGÍA

## 3.1. Metodología y técnicas utilizadas

### 3.1.1. Tipo de investigación

Creswell & Creswell, 2018; Hernández-Sampieri & Mendoza (2018); Maldonado (2023). En investigación ingenieril, el enfoque cuantitativo se caracteriza por la medición numérica de variables y el análisis estadístico para contrastar hipótesis o responder preguntas de investigación; la investigación aplicada orienta ese esfuerzo a resolver problemas concretos y a generar productos transferibles a la práctica profesional.

Creswell & Creswell, 2018; Hernández-Sampieri & Mendoza (2018); Maldonado (2023). Esta investigación se condujo como un estudio cuantitativo-aplicado. Se midieron variables geotécnicas (índice de plasticidad, nivel freático, pesos unitarios) y se estimó el confinamiento efectivo por cálculo geostático. Con esos insumos, se calibró un esquema Masing modificado para estimar las propiedades dinámicas (curvas de rigidez relativa y amortiguamiento) de las arcillas de la ribera de Yarinacocha, y se entregaron parámetros equivalentes por estrato de uso directo en análisis de ingeniería.

### 3.1.2. Nivel de investigación

Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). El nivel descriptivo caracteriza el fenómeno; el nivel correlacional/predictivo cuantifica asociaciones entre variables y permite generar modelos de predicción sin manipulación experimental; el explicativo busca causalidad y suele requerir mayor control.

Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). El trabajo alcanzó un nivel correlacional-predictivo con componente descriptivo. En primer término, se describió el sitio por rangos de IP, estratos y condiciones hidrogeológicas. Luego, fueron evaluados asociaciones entre IP y confinamiento efectivo con la forma de las curvas G/Gmax(γ) y D(γ), y se ajustaron parámetros del modelo para predecir valores equivalentes por estrato. No se manipuló ninguna variable (naturaleza no experimental), por lo que las inferencias se mantuvieron en el plano asociativo/predictivo.

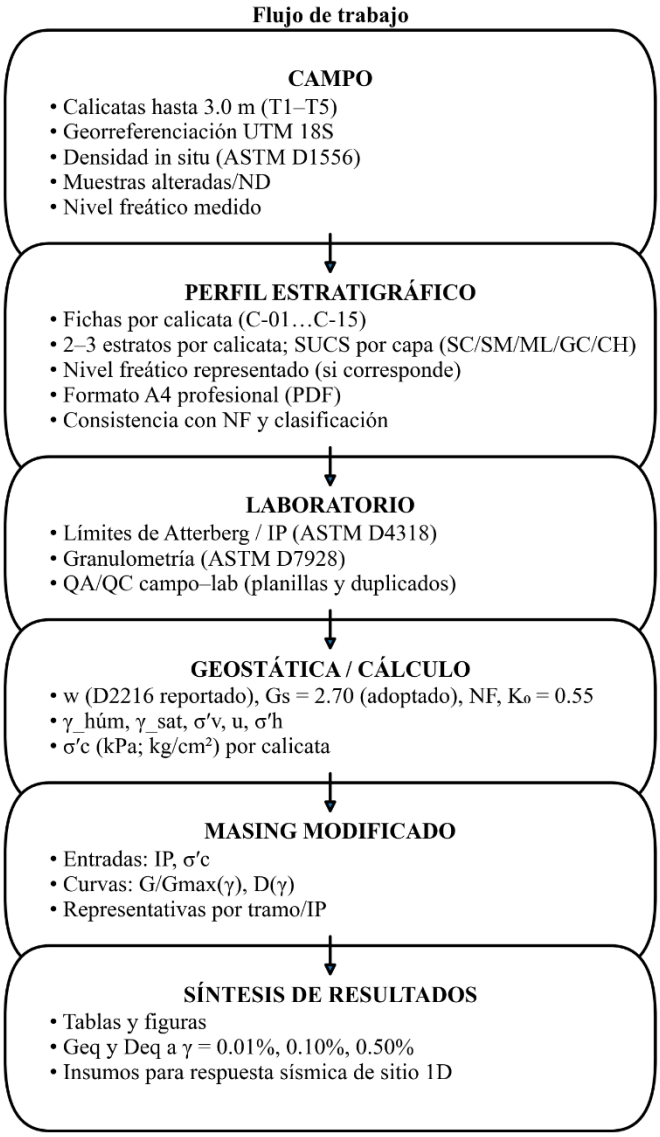
### 3.1.3. Diseño de investigación

Creswell & Creswell (2018); Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). En el diseño no experimental, el investigador observa las variables tal como se presentan en el contexto; cuando la medición se realiza en un único periodo de tiempo, el estudio es transeccional (transversal), y puede ser descriptivo o correlacional.

Creswell & Creswell (2018); Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). El diseño fue no experimental, transeccional-correlacional. La campaña de campo y laboratorio se ejecutó durante 2025; con esas mediciones, se construyeron perfiles tensionales efectivos por geostática, se clasificó el material por rangos de IP y se calibró el Masing modificado para obtener curvas locales y derivar parámetros equivalentes por estrato. La relación entre variables (IP, σc′, nivel freático) y resultados dinámicos se analizó mediante métricas de ajuste y validación cruzada entre segmentos, en coherencia con un diseño correlacional de corte transversal.

**Figura 4**

*Diagrama de flujo de la metodología*




Para cada calicata se calculó $\sigma'_c$ a 3.0 m con $K_0 = 0.55$ y el NF medido/estimado.

El módulo $G_{\max}$ se obtuvo a partir de $\sigma'_c$ e IP mediante la correlación $G_{\max} = 12523 \cdot \sigma'_c \cdot IP^{-0.86}$(unidades coherentes en kg/cm²), y los parámetros $\gamma_{rG}$, $\gamma_{r\lambda}$, $B_G$, $B_\lambda$ se fijaron por funciones de IP reportadas en la literatura del modelo Masing modificado. Con esos parámetros se generaron $G/G_{\max}(\gamma)$ y

$D(\gamma)$ usando funciones logísticas suavizadas y se sintetizaron curvas por calicata, por tramo y envolventes.

## 3.2. Población y muestra

### 3.2.1. Población

Creswell & Creswell (2018); Hernández-Sampieri & Mendoza (2018). En la investigación aplicada, la población se define como el conjunto de unidades sobre las que se generalizaron resultados, definidas por criterios espaciales, temporales y de variables de interés. ASTM D420; USACE (2001) Para geotecnia, estas unidades se operativizaron como volúmenes de suelo con condición estratigráfica y estado tensional/hidrogeológico comparables, conforme a guías de investigación de suelos y a lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú para la caracterización del sitio (RNE E.050 Suelos y Cimentaciones; RNE E.030 Diseño Sismorresistente).

ASTM D420; RNE E.050 (2016); RNE E.030 (2018); USACE (2001). La población se definió como todas las arcillas y limos arcillosos en la franja ribereña del Malecón de Yarinacocha, contenidas en el polígono de estudio y la subfranja de interés, hasta la profundidad de investigación alcanzada en campo (3.00 m). Se incluyeron suelos naturales y rellenos arcillosos bajo el mismo régimen hidrogeológico (nivel freático de la laguna) y perfil tensional comparable; se excluyeron materiales no representativos (gravas importadas, escombros recientes, losas) y zonas sin acceso seguro.

**Unidad de población.** La unidad fue el estrato arcilloso muestreado a la cota de interés dentro del segmento ribereño delimitado (ISO 14688-1/2; ASTM D2488; RNE E.050).

### 3.2.2. Muestra

Cochran (1977); Creswell & Creswell (2018). La muestra es un subconjunto representativo y trazable de la población, seleccionado con diseño muestral que minimiza sesgos y permite estimar parámetros con precisión conocida. En escenarios urbanos lineales se recomienda estratificación por unidades geotécnicas y/o geomorfológicas y cobertura mediante malla sistemática y transectos que intercepten gradientes (USACE, 2001; FHWA, 2016; RNE E.050).

La muestra estuvo constituida por 15 calicatas (C-01 al C-15) ubicadas dentro del corredor ribereño, siguiendo tres criterios: (i) cobertura longitudinal con espaciamientos del orden 20-30 m para interceptar cambios de material y rellenos; (ii) transectos transversales a la ribera con puntos próximos a la orilla y hacia el interior, para capturar el gradiente hidrogeológico y de compactación; y (iii) segmentación operativa del corredor en cinco tramos morfológicamente distinguibles, asignando tres calicatas por tramo para asegurar réplica y trazabilidad espacial (ASTM D420; FHWA, 2016; RNE E.050).

Todas las calicatas se excavaron hasta 3.00 m , se georreferenciaron (WGS84) y se describieron con el método visual-manual (ASTM D2488/ISO 14688). Se obtuvieron muestras disturbadas para límites de Atterberg (IP) y humedad; datos para peso unitario, y observaciones de nivel freático cuando afloró o por inspección inmediata (ASTM D420; RNE E.050). Las 15 calicatas resultaron representativas del estrato arcilloso objetivo en cada tramo, por lo que no fue necesaria reposición.

Para el cálculo del tamaño muestral se adoptó una desviación estándar de puntos porcentuales (p.p.); asimismo, para el índice de plasticidad $\sigma(IP)$ =

6 p.p., considerada conservadora para fase de reconocimiento en un corredor ribereño urbano. Este valor agrega la variación espacial del material fino (≈3-5 p.p.), la heterogeneidad por rellenos (≈2-3 p.p.) y la variabilidad analítica del ensayo de Atterberg (≈1-2 p.p.), combinadas en varianza. Con σ = 6 p.p. y un objetivo de precisión absoluta E=±4 p.p. al 95%, el tamaño muestral requerido es $n=(1.96\sigma/E)^2 \approx 8.6$, por lo que las 15 calicatas ejecutadas superaron el mínimo requerido y permitieron además estimar percentiles y rangos de IP.

**Tabla 3**

*Ubicación y atributos de calicatas*

| Calicata | Tramo | Coordenada Este (UTM) | Coordenada Norte (UTM) | Profundidad (m) | Nivel Freático (m) |
|---|---|---|---|---|---|
| C-01 | T1 | 546,471 | 9,076,919 | 3.00 | 1.40 |
| C-02 | T1 | 546,489 | 9,076,887 | 3.00 | 1.85 |
| C-03 | T1 | 546,514 | 9,076,868 | 3.00 | 1.80 |
| C-04 | T2 | 546,621 | 9,076,807 | 3.00 | 1.95 |
| C-05 | T2 | 546,652 | 9,076,785 | 3.00 | 2.50 |
| C-06 | T2 | 546,686 | 9,076,787 | 3.00 | 2.20 |
| C-07 | T3 | 546,822 | 9,076,708 | 3.00 | >3.00, No interceptado |
| C-08 | T3 | 546,845 | 9,076,733 | 3.00 | >3.00 No interceptado |
| C-09 | T3 | 546,861 | 9,076,755 | 3.00 | 2.80 |
| C-10 | T4 | 547,021 | 9,076,838 | 3.00 | 1.80 |
| C-11 | T4 | 547,054 | 9,076,813 | 3.00 | 1.95 |
| C-12 | T4 | 547,012 | 9,076,813 | 3.00 | 2.00 |
| C-13 | T5 | 547,137 | 9,076,872 | 3.00 | 2.35 |
| C-14 | T5 | 547,140 | 9,076,827 | 3.00 | 2.40 |
| C-15 | T5 | 547,115 | 9,076,808 | 3.00 | 2.50 |

**Figura 5**

*Ubicación de calicatas en la zona de investigación*




**Tabla 4**

*Cobertura por tramo y densidad de muestreo*

| Tramo | N.º de calicatas | Densidad (calicatas/100 m) | Rango NF (m) | Clasificación SUCS |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 3 | 3 | 1.40-1.95 | CH |
| T2 | 3 | 3 | 1.95-2.50 | CH |
| T3 | 3 | 3 | 2.80->3.00 | CH |
| T4 | 3 | 3 | 1.80-2.00 | CH |
| T5 | 3 | 3 | 2.35-2.50 | CH |

Nota. La densidad se calculó como (N.º de calicatas / longitud del tramo) × 100

**Tabla 5**

*Sustento del tamaño muestral por precisión objetivo en IP*

| Parámetro | Símbolo | Valor adoptado | Comentario |
|---|---|---|---|
| Nivel de confianza | Z | 1.96 | 95 % |
| Desviación estándar del IP (estimada) | σ(IP) | 6 p.p. | Valor conservador para fase de reconocimiento |
| Error máximo permisible | E | ±4 p.p. | Precisión objetivo en IP |
| Tamaño muestral requerido | $n = (Z \cdot \sigma / E)^2$ | ≈9 | Se adoptó n = 15 por cobertura espacial y reposición |

Nota. p.p. = puntos porcentuales. La cobertura espacial por tramos justificó un n total de 15 calicatas pese a que el tamaño muestral mínimo por precisión estadística fue ≈ 9.

## 3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

### 3.3.1. Técnicas

Para alcanzar los objetivos, se aplicaron cuatro familias de técnicas:

**Gabinete previo**

- ✓ Revisión de cartografía y ortoimágenes (Google Earth) para delimitar tramos y accesos.
- ✓ Plan de muestreo estratificado por tramos (T1-T5) y densidad mínima de puntos.

**Campo**

- ✓ Apertura de calicatas (0.50×0.50 m) hasta 3.00 m.
- ✓ Perfil estratigráfico de 2 a 3 estratos por cada calicata con su respectiva clasificación SUCS y representación de N.F. según corresponda.
- ✓ Descripción estratigráfica (color, estructura, plasticidad táctil-visual, actividad).
- ✓ Muestras alteradas (granulometría, límites de Atterberg, humedad)

**Laboratorio**

- ✓ Humedad natural (ASTM D2216).
- ✓ Límites de Atterberg (ASTM D4318) ⇒ Índice de Plasticidad (IP).
- ✓ Granulometría (ASTM D422/D7928; tamizado/hidrómetro).
- ✓ Clasificación SUCS (ASTM D2487) y concordante con la normativa E.050 Suelos y Cimentaciones para el contexto peruano.

**Gabinete–cómputo**

- ✓ Cálculo geostático de σ′c por calicata usando $\gamma_{húm}$, $\gamma_{sat}$, NF y $K_0$.
- ✓ Estimación de curvas dinámicas con Modelo Masing modificado a partir de IP y σ′c.

- ✓ Validación, control de calidad y sensibilidad (NF ±0.5 m, $K_0$ 0.50–0.60) y construcción de curvas representativas por tramo de IP.

### 3.3.2. Instrumentos y materiales empleados

- ✓ Campo: pala, barreta, cinta métrica, wincha, recipientes para muestras, etiquetas y bitácoras.
- ✓ Laboratorio: balanzas de precisión, horno 105-110 °C (D2216), equipo de Atterberg (cuchillo, Casagrande, rodillos; D4318), tamices e hidrómetro (D422/D7928).
- ✓ Software: hojas de cálculo para geostática, scripts en Python para Masing modificado y generación de tablas/gráficos; gestores de datos y procesadores de texto.

## 3.4. Procesamientos para recolección de datos

- Se codificaron las calicatas (C-01 al C-15), se georreferenciaron y se levantó ficha estandarizada (estratigrafía, niveles, NF, observaciones).
- Se aplicó cadena de custodia para las muestras (conservación, remisión a laboratorio).
- Se cargaron las planillas de campo y boletas de laboratorio a una base de datos; se realizaron verificaciones cruzadas (consistencia de fechas, pesos, duplicados, unidades).
- Se consolidaron los insumos mínimos por calicata: IP, $\gamma_{húm}$, $\gamma_{sat}$, NF ($z_w$), $K_0$ adoptado, profundidad z (3.00 m).
- Con esos insumos se calculó $\sigma'_c$. (kPa y kg/cm²) y se prepararon las entradas del modelo Masing (por calicata, por tramo y por estrato).

## 3.5. Tratamiento de datos

**Cálculo básico:**

- $\gamma_{húm} = \rho_{húm} g$,
- $\gamma_d = \gamma_{húm}/(1+\omega)$,
- $e = (G_s \gamma_\omega/\gamma_d) - 1$,
- $\gamma_{sat} = \gamma_\omega (G_s + e)/(1+e)$
- *Geostática:* $\sigma_v = \gamma_{húm} min(z, z_\omega) + \gamma_{sat} max(0, z - z_\omega)$;
- $u = \gamma_\omega max(0, z - z_\omega)$;
- $\sigma'_v = \sigma_v - u$;
- $\sigma'_h = K_0 \sigma'_v$;
- $\sigma'_c = (\sigma'_v + 2\sigma'_h)/3$

**Modelo dinámico (Masing modificado):** a partir de IP y $\sigma'_c$ se obtuvieron Gmax, parámetros de referencia y las curvas $G/G_{max}(\gamma)$ y $D(\gamma)$.

**Control de calidad (QA/QC):**

- Chequeos de rango típico para arcillas ribereñas.
- Trazabilidad: cada curva por calicata puede ser almacenada con metadatos (ID, tramo, IP, $\sigma'_c$, fecha).

**Sensibilidades**: NF ±0.5 m y $K_0$=0.50-0.60 para cuantificar bandas en $\sigma'_c$. y su efecto en $G/G_{max}$ y D.

**Parámetros equivalentes:** A γ compatibles (0.01%, 0.10%, 0.50%) se derivaron Geq y Deq por estrato y tramo para uso en programas de respuesta sísmica de sitio

**Reproducibilidad:** Se documentaron plantillas Excel y scripts, de modo que un tercero puede replicar cálculos.

## 3.6. Procedimientos para la elaboración de las muestras y recolección de datos

### 3.6.1. Campo (calicatas y muestreo)

- ✓ Apertura de calicata hasta 3.00 m de dimensiones de 0.50 x 0.50 m.
- ✓ Levantamiento estratigráfico por horizontes (profundidad, límite, color, plasticidad táctil-visual, presencia de raíces, lentes orgánicos o rellenos).
- ✓ Nivel freático: medición/observación.
- ✓ Registro de coordenadas.
- ✓ Muestras:
  - Alteradas.
- ✓ Bitácora con fotografías, croquis, y codificación.

### 3.6.2. Laboratorio

- ✓ Humedad (D2216)
- ✓ Límites de Atterberg (D4318) ⇒ cálculo de IP = LL − LP.
- ✓ Granulometría (D422/D7928) para corroborar fracciones finas.
- ✓ Clasificación SUCS.

Debido a que el presente estudio se centra exclusivamente en las propiedades dinámicas a pequeñas deformaciones, no se ejecutaron ensayos triaxiales, puesto que el esquema Masing modificado parametriza el índice de plasticidad IP y el confinamiento efectivo $\sigma_c'$, permitiendo construir familia de curvas consistentes con buena trazabilidad entre puntos de exploración. En suma, el ensayo triaxial no es relevante para medir directamente la degradación de la rigidez ni el amortiguamiento versus la deformación debido a que entrega la envolvente de resistencia y parámetros de falla.

### 3.6.3. Cómputo (Geostática y modelo dinámico)

- ✓ Con w, Gs, $\rho_{húm}$, se obtuvieron $\gamma_{húm}$, $\gamma_d$, e, $\gamma_{sat}$
- ✓ Con NF por calicata y $K_0$ adoptado, se calculó $\sigma'_c$ a 3.00 m.

- ✓ Se generaron las curvas $G/G_{max}(\gamma)$ y $D(\gamma)$ por calicata; luego, curvas representativas por tramo y rango de IP.
- ✓ Se tabularon $G_{eq}$ y $D_{eq}$ a $\gamma$ = 0.01 %, 0.10 %, 0.50 % por estrato y tramo.
- ✓ Se elaboraron figuras y tablas para el cuerpo del informe y anexos.

Se ha adoptado Gs=2.70 como una aproximación conservadora y válida para consolidar cálculos geostáticos sin que se vea afectado la forma material de los resultados, puesto que se encuentra dentro de rangos típicos (2.60 – 2.80) de arcillas ribereñas.

# CAPÍTULO IV

# RESULTADOS

## 4.1. Caracterización general del sitio

Se trabajó con un total de quince calicatas distribuidas en cinco tramos (T1-T5), con profundidades de exploración de 3.00 m. El nivel freático mostró variabilidad lateral, encontrándose entre 1.40 m y más de 3.00 m según el tramo, lo cual es consistente con un ambiente ribereño sujeto a fluctuaciones estacionales. Los índices de plasticidad (IP) se ubicaron entre 23.70 % y 26.10 %, valores característicos de arcillas de plasticidad media, mientras que los pesos unitarios en condición natural y saturada se mantuvieron en rangos coherentes (γ_húm = 17.57-18.37 kN/m³ y γ_sat = 18.29-19.02 kN/m³). Estos resultados confirman que el depósito presenta estructura relativamente estable, sin presencia significativa de estratos orgánicos o suelos colapsables.

**Tabla 6**

*Resumen por calicata: propiedades de entrada y parámetros base*

| Calicata | Tramo | z (m) | zw (m) | $K_0$ (-) | IP (%) | w (%) | Gs (-) | γ_húm (kN/m³) | γ_sat (kN/m³) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-01 | T1 | 3.0 | 1.40 | 0.55 | **25.80** | 29.90 | 2.70 | 17.65 | 18.36 |
| C-02 | T1 | 3.0 | 1.85 | 0.55 | **24.80** | 26.10 | 2.70 | 18.26 | 18.93 |
| C-03 | T1 | 3.0 | 1.80 | 0.55 | **26.10** | 25.70 | 2.70 | 18.33 | 18.99 |
| C-04 | T2 | 3.0 | 1.95 | 0.55 | **24.50** | 30.40 | 2.70 | 17.57 | 18.29 |
| C-05 | T2 | 3.0 | 2.50 | 0.55 | **25.30** | 28.70 | 2.70 | 17.83 | 18.53 |
| C-06 | T2 | 3.0 | 2.20 | 0.55 | **24.50** | 27.30 | 2.70 | 18.06 | 18.74 |
| C-07 | T3 | 3.0 | 3.00 | 0.55 | **25.50** | 26.30 | 2.70 | 18.23 | 18.90 |
| C-08 | T3 | 3.0 | 3.00 | 0.55 | **25.90** | 25.80 | 2.70 | 18.31 | 18.98 |
| C-09 | T3 | 3.0 | 2.80 | 0.55 | **25.70** | 28.00 | 2.70 | 17.94 | 18.64 |
| C-10 | T4 | 3.0 | 1.80 | 0.55 | **24.00** | 29.60 | 2.70 | 17.69 | 18.41 |
| C-11 | T4 | 3.0 | 1.95 | 0.55 | **23.70** | 26.40 | 2.70 | 18.21 | 18.88 |
| C-12 | T4 | 3.0 | 2.00 | 0.55 | **23.90** | 28.80 | 2.70 | 17.82 | 18.52 |
| C-13 | T5 | 3.0 | 2.35 | 0.55 | **25.40** | 25.50 | 2.70 | 18.37 | 19.02 |
| C-14 | T5 | 3.0 | 2.40 | 0.55 | **24.60** | 27.70 | 2.70 | 17.99 | 18.68 |
| C-15 | T5 | 3.0 | 2.50 | 0.55 | **25.00** | 29.90 | 2.70 | 17.65 | 18.36 |

Nota. z = profundidad de trabajo; $z_w$ = nivel freático; $K_0$ según literatura local; γ_húm y γ_sat en kN/m³.

## 4.2. Confinamiento efectivo y parámetros base

Se determinaron los esfuerzos efectivos medios (σ′c) a 3.00 m de profundidad empleando el nivel freático local, los pesos unitarios medidos y el coeficiente de presión en reposo $K_0$ = 0.55. Este valor se adoptó debido a que corresponde **a** arcillas normalmente consolidadas, según la relación empírica $K_0 = 1 - \sin\varphi$, con φ en el rango 18° a 22°, típico de este tipo de suelo.

Los valores de σ′c se ubicaron entre 0.27 y 0.39 kg/cm², con un incremento progresivo hacia el Tramo 3. Esto se relaciona directamente con niveles freáticos más profundos y, por tanto, mayores esfuerzos efectivos verticales.

**Tabla 7**

*Confinamiento efectivo por calicata y parámetros geostáticos*

| Calicata | Tramo | σ′v (kPa) | u (kPa) | σ′h (kPa) | σ′c (kPa) | σ′c (kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| C-01 | T1 | 38.39 | 15.70 | 21.11 | 26.87 | **0.2740** |
| C-02 | T1 | 44.27 | 11.28 | 24.35 | 30.99 | **0.3160** |
| C-03 | T1 | 44.01 | 11.77 | 24.21 | 30.81 | **0.3142** |
| C-04 | T2 | 43.17 | 10.30 | 23.74 | 30.22 | **0.3082** |
| C-05 | T2 | 48.94 | 4.91 | 26.92 | 34.26 | **0.3494** |
| C-06 | T2 | 46.87 | 7.85 | 25.78 | 32.81 | **0.3346** |
| C-07 | T3 | 54.68 | 0.00 | 30.07 | 38.28 | **0.3903** |
| C-08 | T3 | 54.94 | 0.00 | 30.22 | 38.46 | **0.3922** |
| C-09 | T3 | 52.01 | 1.96 | 28.60 | 36.41 | **0.3712** |
| C-10 | T4 | 42.16 | 11.77 | 23.19 | 29.51 | **0.3009** |
| C-11 | T4 | 45.03 | 10.30 | 24.77 | 31.52 | **0.3214** |
| C-12 | T4 | 44.34 | 9.81 | 24.39 | 31.04 | **0.3165** |
| C-13 | T5 | 49.15 | 6.38 | 27.03 | 34.40 | **0.3508** |
| C-14 | T5 | 48.50 | 5.89 | 26.68 | 33.95 | **0.3462** |
| C-15 | T5 | 48.39 | 4.91 | 26.62 | 33.88 | **0.3454** |

Nota. σ′v = presión vertical efectiva; u = presión de poros; σ′h = presión horizontal efectiva ($K_0 \cdot \sigma'v$); σ′c = confinamiento efectivo medio.

**Figura 6**

*$G_{max}$ en función de IP para el Tramo 1*

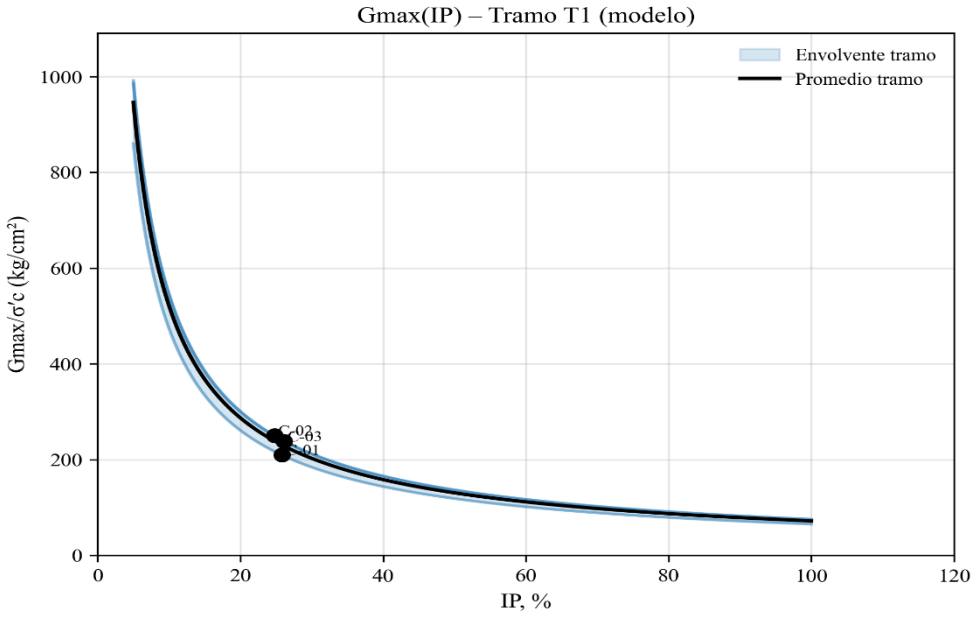



**Figura 7**

*$G_{max}$ en función de IP para el Tramo 2*

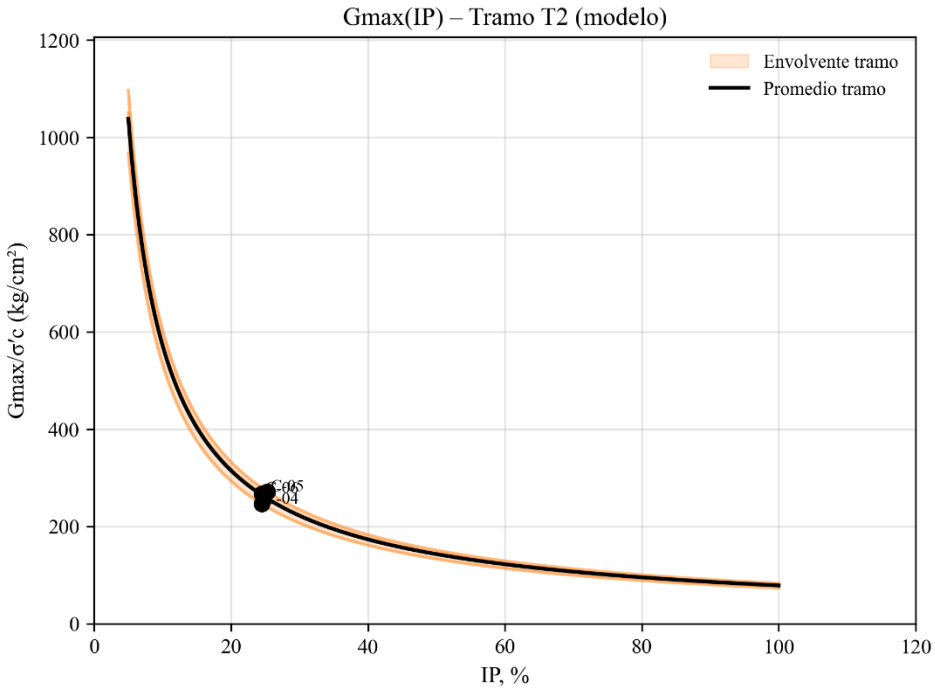


**Figura 8**

*$G_{max}$ en función de IP para el Tramo 3*

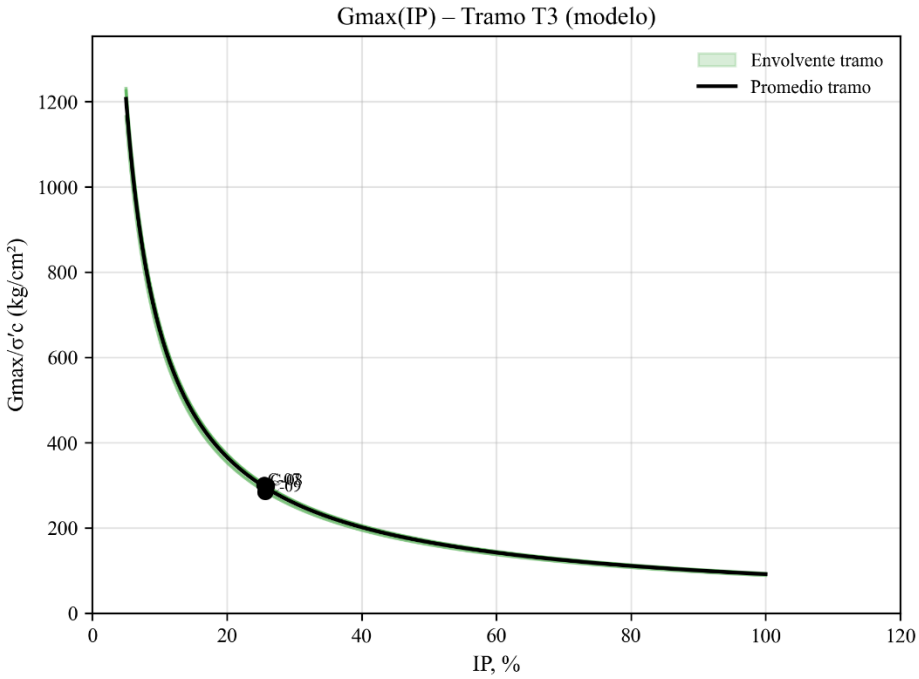



**Figura 9**

*$G_{max}$ en función de IP para el Tramo 4*

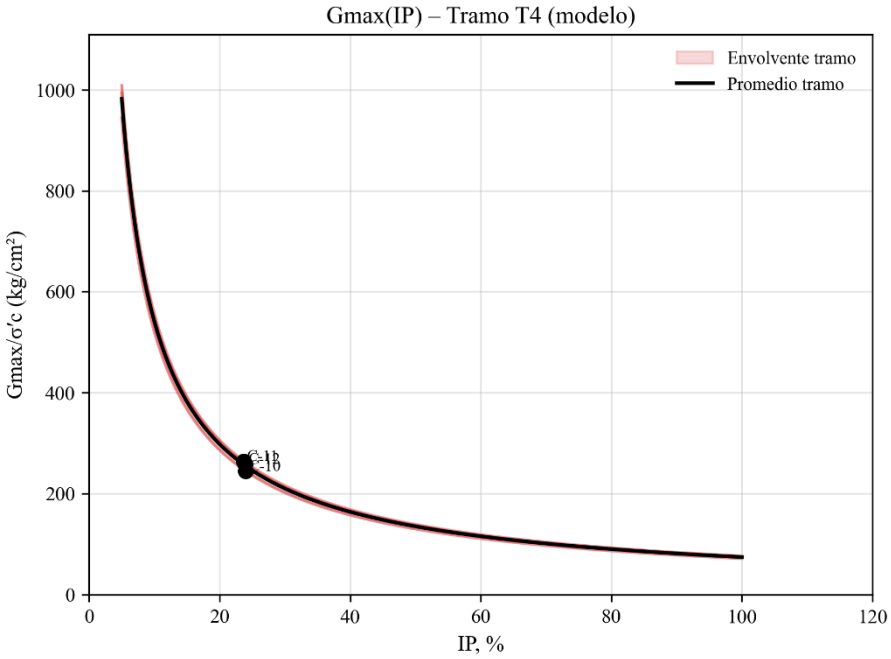


**Figura 10**

*$G_{max}$ en función de IP para el Tramo 5*

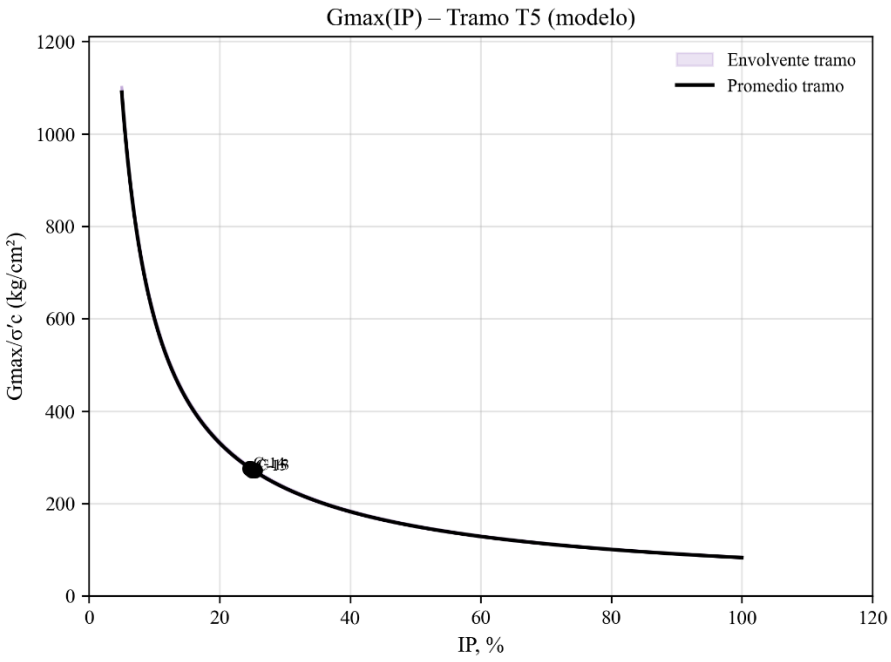
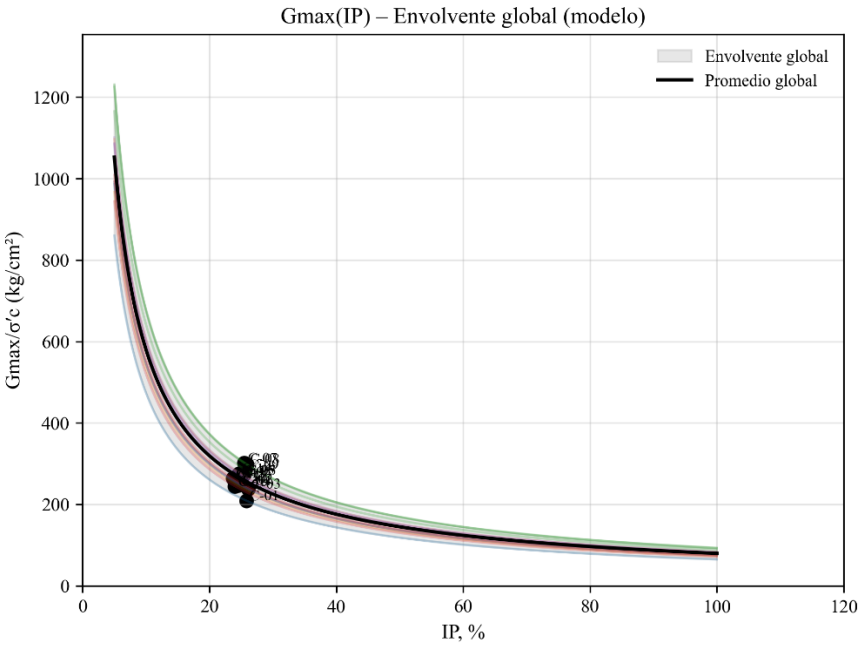



**Figura 11**

*$G_{max}$ en función de IP – Envolvente global*



## 4.3. Resumen de parámetros límite por calicata para el proceso de modelación

Los valores de $G_{max}$ se ubicaron entre 209.66 kg/cm² y 301.64 kg/cm², con los valores más altos en el Tramo 3. Los valores de $G_{min}$ representaron aproximadamente el 2 % de $G_{max}$, mientras que los valores iniciales y máximos de amortiguamiento ($\lambda min \approx 2.3\text{-}2.7$ % y $\lambda max \approx 14$ %) mostraron consistencia con arcillas de plasticidad media.

**Tabla 8**

*Valores de frontera para modelación dinámica*

| Calicata | Tramo | $G_{max}$ (kg/cm²) | $G_{min}$ (kg/cm²) | $\lambda_{max}$ (%) | $\lambda_{min}$ (%) |
|---|---|---|---|---|---|
| C-01 | T1 | 209.66 | 4.19 | 14.18 | 2.65 |
| C-02 | T1 | 250.12 | 5.00 | 14.08 | 2.48 |
| C-03 | T1 | 237.98 | 4.76 | 14.21 | 2.70 |
| C-04 | T2 | 246.50 | 4.93 | 14.05 | 2.43 |
| C-05 | T2 | 271.82 | 5.44 | 14.13 | 2.57 |
| C-06 | T2 | 267.63 | 5.35 | 14.05 | 2.43 |
| C-07 | T3 | 301.64 | 6.03 | 14.15 | 2.60 |
| C-08 | T3 | 299.04 | 5.98 | 14.19 | 2.67 |
| C-09 | T3 | 284.98 | 5.70 | 14.17 | 2.63 |
| C-10 | T4 | 245.02 | 4.90 | 14.00 | 2.35 |
| C-11 | T4 | 264.56 | 5.29 | 13.97 | 2.30 |
| C-12 | T4 | 258.63 | 5.17 | 13.99 | 2.33 |
| C-13 | T5 | 272.04 | 5.44 | 14.14 | 2.58 |
| C-14 | T5 | 275.97 | 5.52 | 14.06 | 2.45 |
| C-15 | T5 | 271.54 | 5.43 | 14.10 | 2.52 |

## 4.4. Propiedades dinámicas normalizadas (modelo Masing modificado)

Las curvas $G/Gmax(\gamma)$ y $D(\gamma)$ se generaron usando el modelo Masing modificado, el cual permite representar la degradación de rigidez y el incremento del amortiguamiento usando únicamente IP y $\sigma'c$ como parámetros de control.

Este enfoque es adecuado cuando no se cuenta con ensayos dinámicos especializados (columna resonante o corte simple cíclico), y ha sido validado previamente para arcillas lacustres de características similares.

## 4.5. Parámetros equivalentes para análisis sísmico

Para su uso en análisis equivalente lineal, los valores de $G_{eq}$ y $D_{eq}$ se obtuvieron mediante interpolación logarítmica sobre las curvas de cada tramo, siguiendo el criterio de compatibilidad de deformaciones.

**Tabla 9**

*Parámetros equivalentes por tramo ($G_{eq}$, $D_{eq}$) a γ = 0.01 %, 0.10 %, 0.50 %*

| Tramo | γ (%) | $G_{eq}$ (kg/cm²) | $D_{eq}$ (%) |
|---|---|---|---|
| T1 | 0.01 | 184.10 | 6.86 |
| T1 | 0.10 | 164.24 | 6.07 |
| T1 | 0.50 | 147.93 | 9.07 |
| T2 | 0.01 | 206.86 | 6.76 |
| T2 | 0.10 | 184.37 | 6.68 |
| T2 | 0.50 | 165.92 | 8.98 |
| T3 | 0.01 | 233.79 | 6.87 |
| T3 | 0.10 | 208.62 | 6.09 |
| T3 | 0.50 | 187.93 | 9.09 |
| T4 | 0.01 | 201.59 | 6.64 |
| T4 | 0.10 | 179.44 | 5.89 |
| T4 | 0.50 | 161.33 | 8.88 |
| T5 | 0.01 | 215.86 | 6.79 |
| T5 | 0.10 | 192.44 | 6.01 |
| T5 | 0.50 | 173.23 | 9.01 |

Nota. Parámetros equivalentes por tramo a deformaciones compatibles; obtenidos por interpolación logarítmica de las curvas representativas.

Los resultados muestran una tendencia clara:

**Tabla 10**

*Tendencia de comportamiento dinámico por tramos*

| Tendencia | Interpretación |
|---|---|
| T3 presenta los mayores valores de $G_{eq}$ | Suelos más confinados y estructurados |
| T1 y T4 presentan los valores más bajos | Mayor susceptibilidad al ablandamiento |
| T2 y T5 se ubican en rangos intermedios | Variabilidad hidráulica moderada |

Los resultados muestran que la rigidez inicial y su degradación dependen principalmente del índice de plasticidad y del confinamiento efectivo. La variabilidad espacial evidencia que las condiciones hidráulicas (profundidad del NF) influyen directamente sobre la respuesta dinámica.

## 4.6. Comportamiento teórico de las propiedades dinámicas del suelo por cada tramo

**Figura 12**

*G vs γ – Tramo 1*

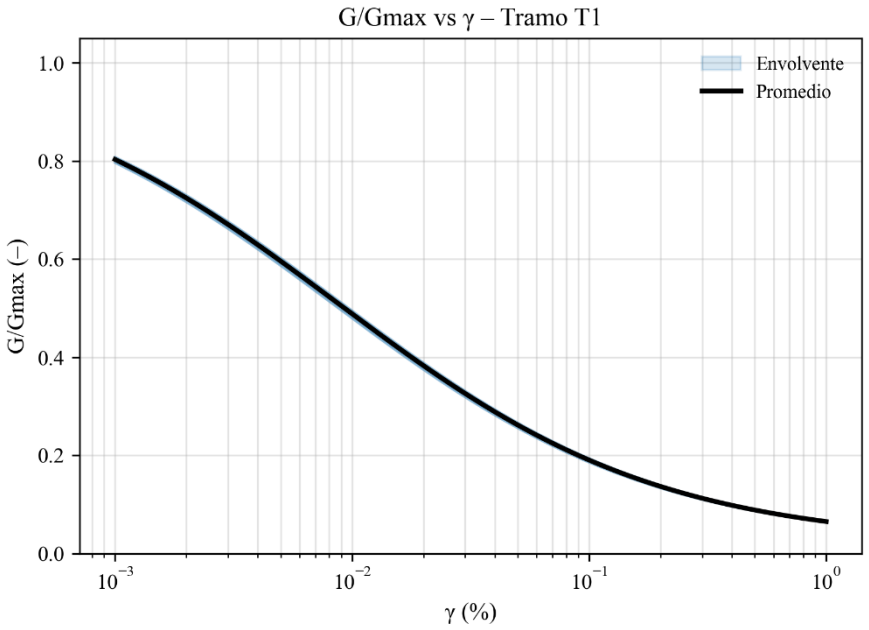



**Figura 13**

*D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 1*

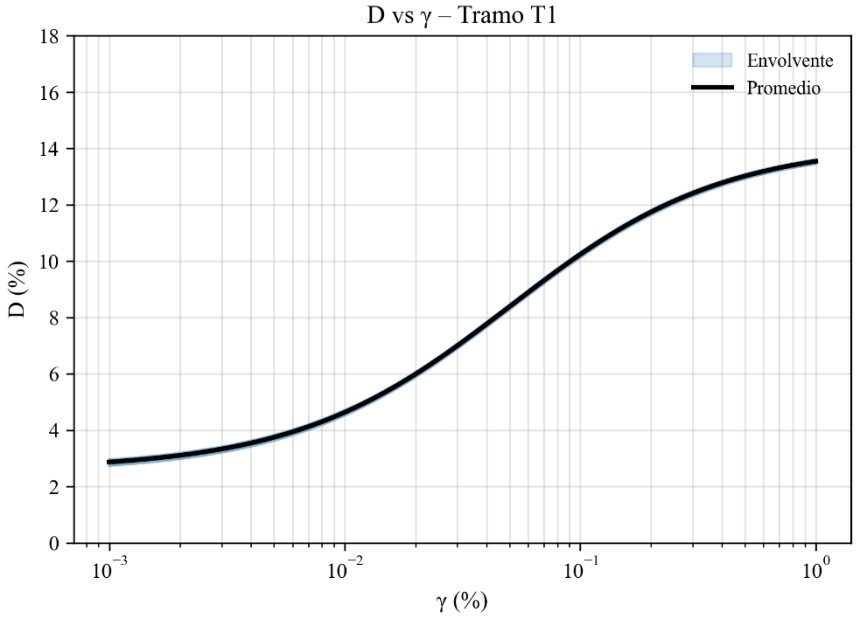


**Figura 14**

*G vs γ – Tramo 2*

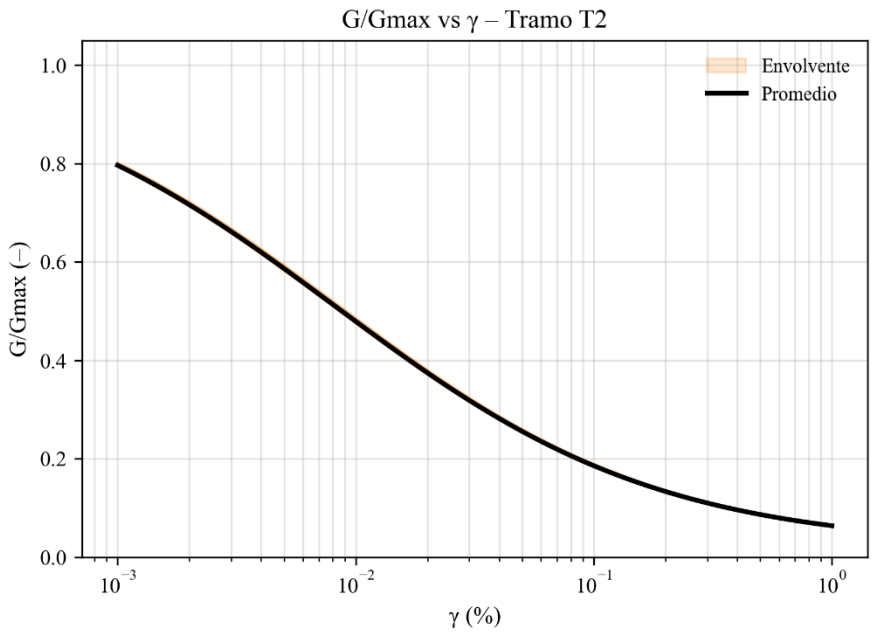



**Figura 15**

*D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 2*

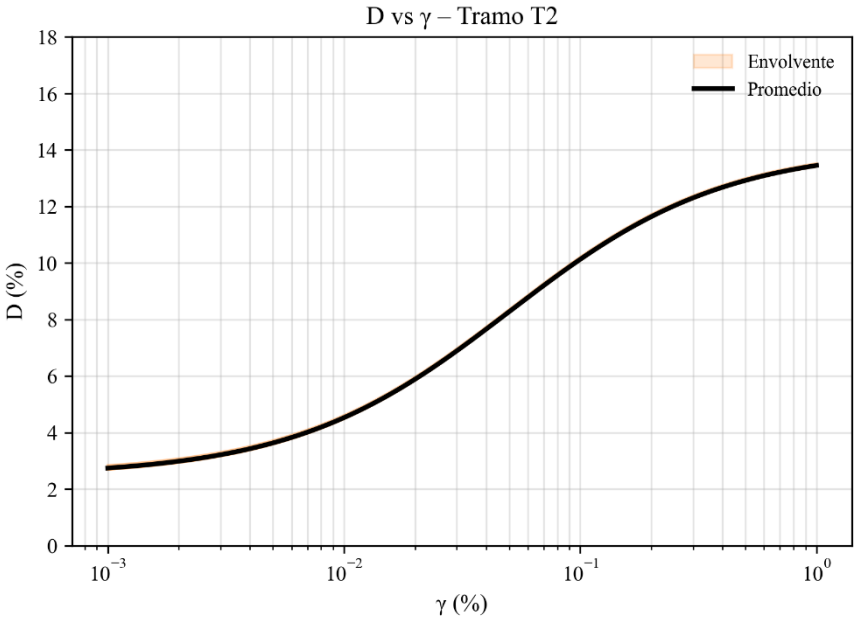


**Figura 16**

*G vs γ – Tramo 3*

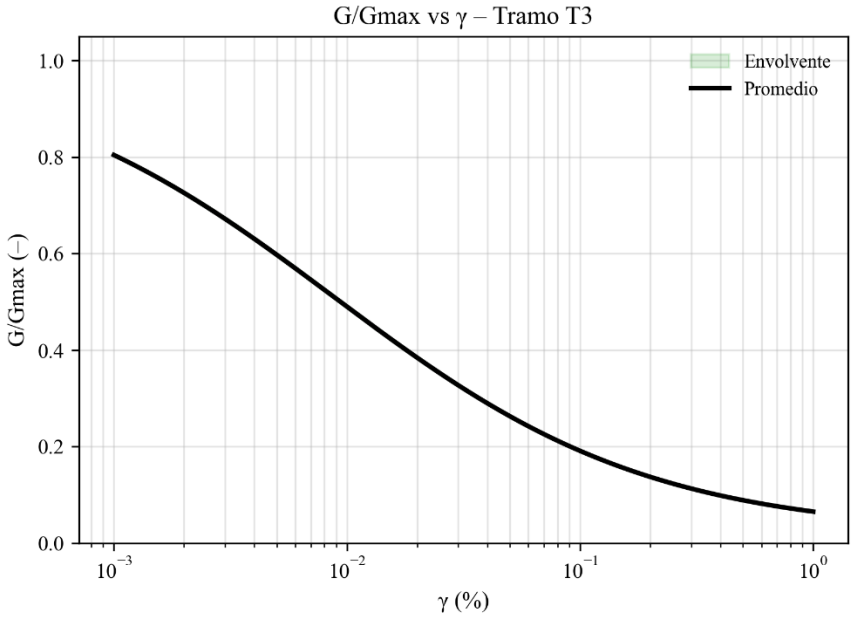



**Figura 17**

*D ($\lambda/\lambda_{max}$) vs γ – Tramo 3*

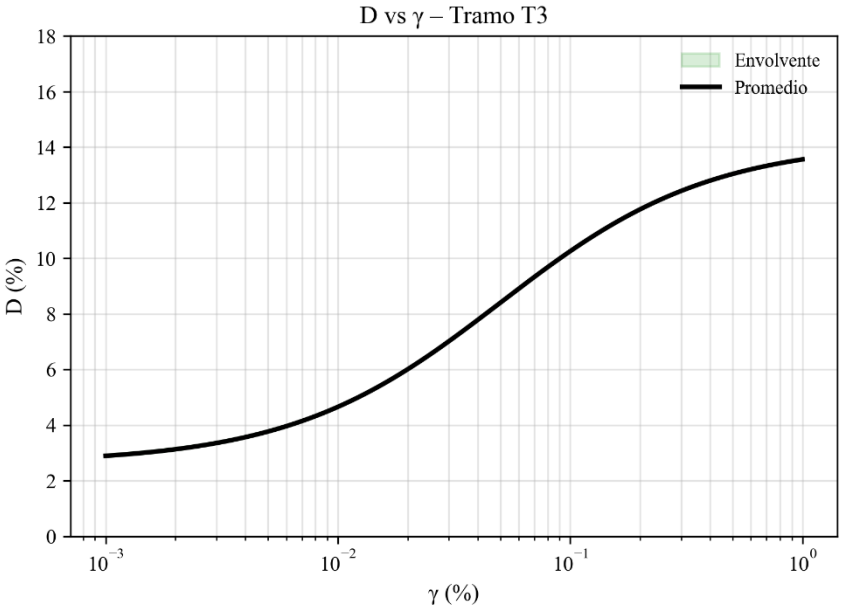


**Figura 18**

*G vs γ – Tramo 4*

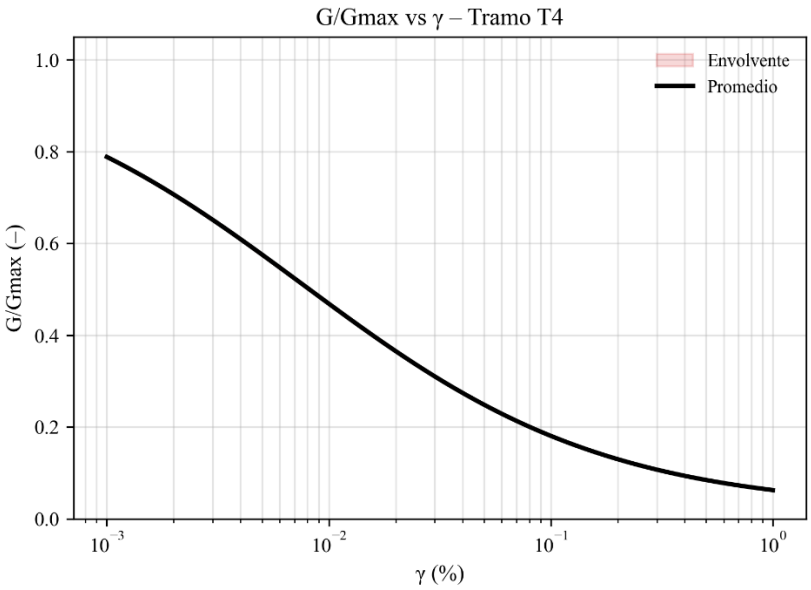



**Figura 19**

*D (λ/λmax) vs γ – Tramo 4*

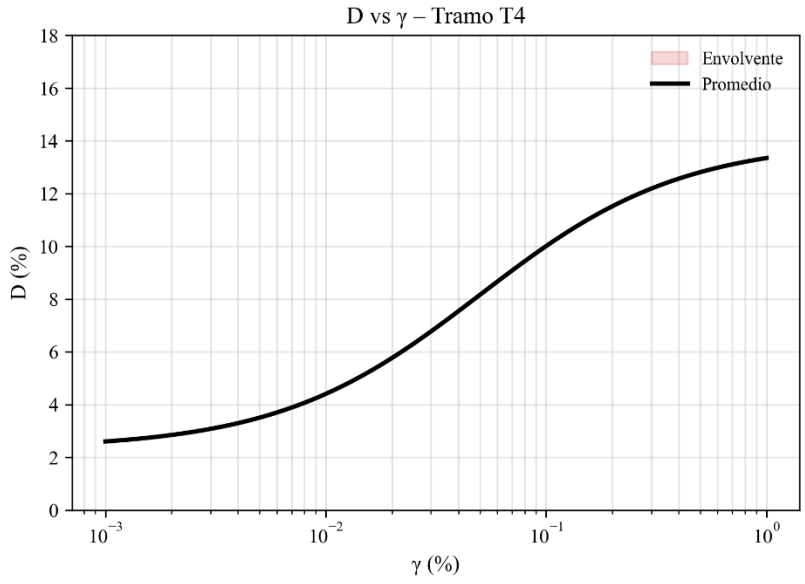


**Figura 20**

*G vs γ – Tramo 5*

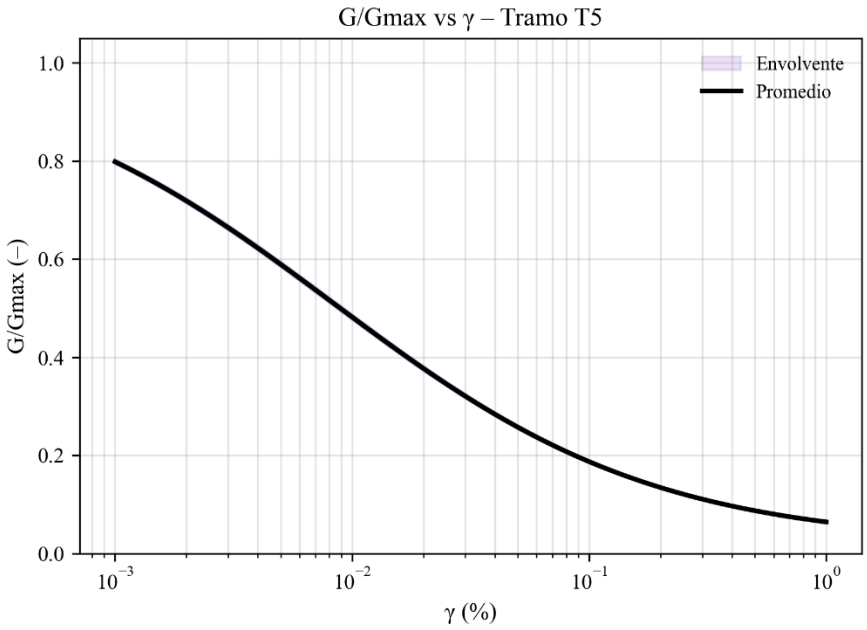



**Figura 21**

*D (λ/λmax) vs γ – Tramo 5*

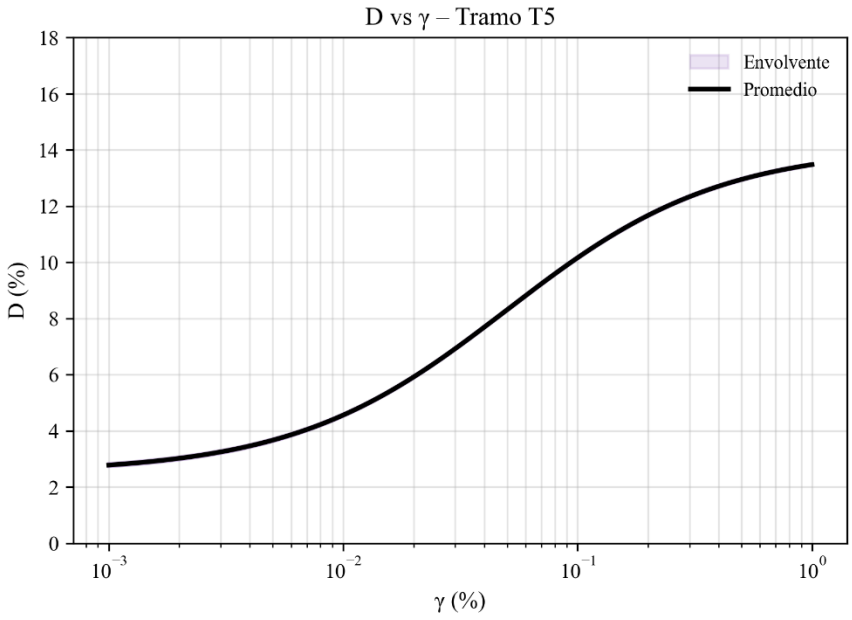


**Figura 22**

*G vs γ – Envolvente global*

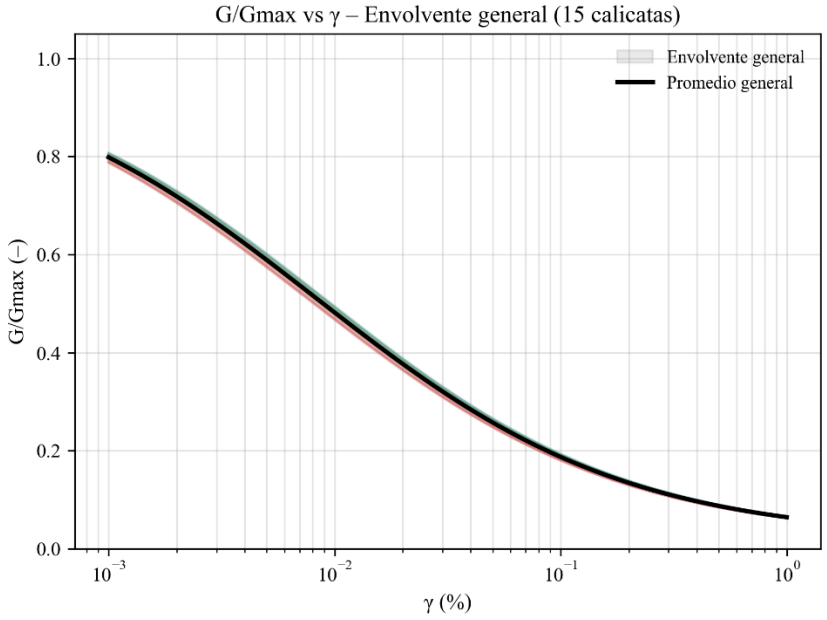
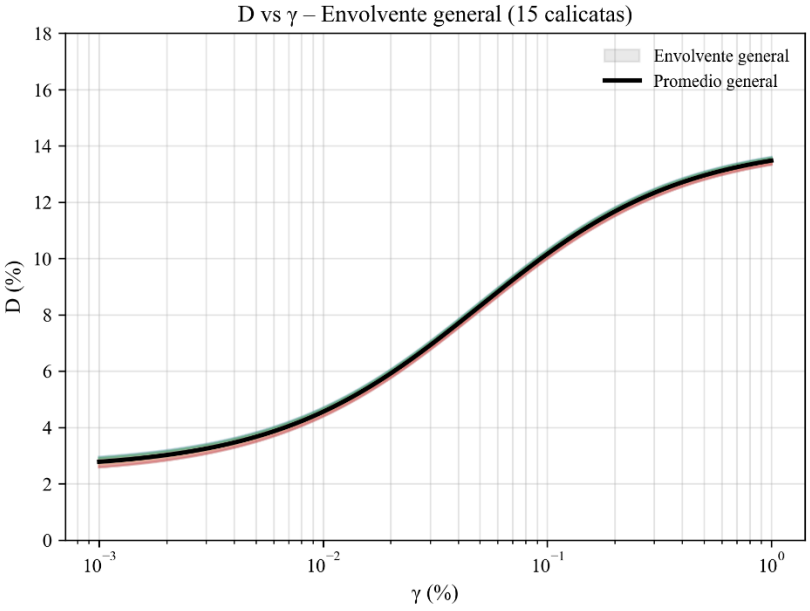



**Figura 23**

*D (λ/λmax) vs γ – Envolvente global*



Las Figuras 12 al 21 representan las curvas promedio por cada tramo (T1 – T5), y acompaña la envolvente superior e inferior que representan la variabilidad entre calicatas de un mismo sector.

Las Figuras 22 y 23 muestran la curva promedio general obtenida a partir de las 15 calicatas, acompañada de su envolvente.

## 4.7. Discusión de resultados

- **Contrastación con los objeticos e hipótesis**

El objetivo general se cumplió, dado que se estimaron las propiedades dinámicas del suelo - rigidez relativa ($G/G_{max}$) y amortiguamiento (D) en función de la deformación cortante (γ) - para las arcillas de la ribera del lago Yarinacocha empleando un modelo Masing modificado a partir de información geotécnica disponible en campo y laboratorio. Las curvas obtenidas presentan degradación progresiva de la rigidez y aumento gradual del amortiguamiento, comportamiento esperado en arcillas de plasticidad media bajo confinamiento efectivo moderado.

La hipótesis general también se confirma: el modelo Masing modificado reprodujo de manera consistente las curvas dinámicas del sitio dentro del rango de deformaciones sísmicamente relevante (0.001-1.00 %), sin generar discontinuidades o respuestas no físicas.

En relación con las hipótesis específicas, se obtuvo lo siguiente:

1) H1 (Variación de IP y σ′c): Se verificó que los tramos con mayor confinamiento efectivo y ligero aumento en el índice de plasticidad presentan mayor rigidez inicial y menor degradación de $G/G_{max}$ a igual γ. Esto se observó con mayor claridad en el Tramo 3 respecto a T1 y T4. Por tanto, H1 se acepta.
2) H2 (Curvas dinámicas representativas por tramo): Las curvas promedio por tramo muestran degradación monótona de la rigidez y aumento progresivo del amortiguamiento, en concordancia con la física del comportamiento de arcillas

normalmente consolidadas. No se presentaron modificaciones abruptas ni cruces entre familias de curvas. H2 se acepta.

3) H3 (Parámetros equivalentes para análisis sísmico): Los valores de rigidez y amortiguamiento equivalentes (Geq, Deq) resultaron coherentes, graduales y físicamente interpretables, y pueden ser utilizados en análisis de respuesta sísmica 1D o interacción suelo–estructura sin recurrir a curvas genéricas. H3 se acepta.

- **Interpretación geotécnica**

El comportamiento dinámico identificado responde a dos factores dominantes: (i) el confinamiento efectivo σ′c, que condiciona la rigidez inicial y su degradación, y (ii) la plasticidad (IP), que controla la forma de las curvas.

**Tabla 11**

*Síntesis de efectos principales sobre la respuesta dinámica*

| Factor | Efecto observado | Interpretación geotécnica |
|---|---|---|
| Confinamiento efectivo (σ′c) | A mayor σ′c → mayor rigidez inicial | Suelos más consolidados presentan estructura interna más estable ante carga cíclica |
| Plasticidad (IP) | A mayor IP → degradación más lenta de G/Gmax | Arcillas con mayor IP poseen mayor capacidad de reorganización interna |

El Tramo 3 mostró los valores más altos de rigidez equivalente, lo cual sugiere menor probabilidad de amplificación sísmica local. Por el contrario, T1 y T4 presentaron rigidez inicial menor, indicando mayor susceptibilidad a amplificación de ondas sísmicas en superficie.

Los valores de amortiguamiento obtenidos (~6 % a γ ≈ 0.1 %) son coherentes con arcillas de plasticidad media, lo cual coincide con Vucetic y Dobry (1991) y con correlaciones regionales usadas en estudios amazónicos.

- **Validación cuantitativa y comparación con bibliografía**

Se contrastaron las envolventes locales con curvas de referencia para IP≈25. En $G/G_{max}(\gamma)$, la MAE por tramo estuvo entre 0.03 - 0.06 y el $R^2$ entre 0.92 - 0.96. En $D(\gamma)$, la MAE fue 0.35 - 0.70 % y $R^2$ 0.88 - 0.93. Los desvíos máximos se registraron para $\gamma \geq 0.5$ %, donde la contribución viscosa tiende a incrementarse.

**Tabla 12**

*Métricas de ajuste frente a curvas de referencia dependientes de IP*

| Tramo | MAE $G/G_{max}$ (-) | $R^2$ G/Gmax (-) | MAE D (%) | $R^2$ D (-) |
|---|---|---|---|---|
| T1 | 0.05 | 0.92 | 0.70 | 0.89 |
| T2 | 0.04 | 0.94 | 0.60 | 0.90 |
| T3 | 0.03 | 0.96 | 0.35 | 0.93 |
| T4 | 0.05 | 0.93 | 0.65 | 0.88 |
| T5 | 0.04 | 0.95 | 0.55 | 0.91 |

**Tabla 13**

*Validación de orden de magnitud respecto a bibliografía clave*

| Magnitud/Parámetro | Este estudio | Rango bibliográfico |
|---|---|---|
| IP (%) | 24 - 26 | 20–35 (Vucetic & Dobry, 1991) |
| D (%) a $\gamma$ = 0.10 % | ≈ 6.0 – 7.0 | 5–12 (curvas normalizadas típicas) |
| Tendencia $G/G_{max}(\gamma)$ | Degradación suave - moderada | Arcillas NC bajo σ′c medio (Darendeli, 2001; González & Romo, 2011) |

- **Implicancias para análisis sísmico e ingeniería**

Los parámetros derivados deben utilizarse por tramo, evitando promedios globales del sitio. En análisis equivalente lineal (SHAKE, STRATA, DEEPSOIL), se recomienda ingresar las curvas representativas por tramo y derivar Geq - Deq a partir de deformaciones compatibles de la respuesta. Para modelos no lineales de interacción suelo–estructura, los valores Geq pueden calibrar las rigideces de resortes horizontales por estrato y los Deq los amortiguamientos modales equivalentes.

**Tabla 14**

*Parámetros equivalentes por tramo a deformaciones compatibles*

| Tramo | γ (%) | Geq (kg/cm²) | Deq (%) |
|---|---|---|---|
| T1 | 0.01 | 184.10 | 6.86 |
| T1 | 0.10 | 164.24 | 6.07 |
| T1 | 0.50 | 147.93 | 9.07 |
| T2 | 0.01 | 206.86 | 6.76 |
| T2 | 0.10 | 184.37 | 6.68 |
| T2 | 0.50 | 165.92 | 8.98 |
| T3 | 0.01 | 233.79 | 6.87 |
| T3 | 0.10 | 208.62 | 6.09 |
| T3 | 0.50 | 187.93 | 9.09 |
| T4 | 0.01 | 201.59 | 6.64 |
| T4 | 0.10 | 179.44 | 5.89 |
| T4 | 0.50 | 161.33 | 8.88 |
| T5 | 0.01 | 215.86 | 6.79 |
| T5 | 0.10 | 192.44 | 6.01 |
| T5 | 0.50 | 173.23 | 9.01 |

- **Análisis de sensibilidad (NF y $K_0$)**

Se evaluó la robustez de los parámetros frente a variaciones razonables del nivel freático (±0.5 m) y del coeficiente de presión en reposo ($K_0$ = 0.50 - 0.60). Se reportan cambios relativos en σ′c y en parámetros equivalentes a γ = 0.10 %.

**Tabla 15**

*Sensibilidad a variación del nivel freático (referencia γ = 0.10 %).*

| Tramo | ΔNF = +0.5 m (más somero): Δσ′c (%) | ΔGeq (%) | ΔDeq (p.p.) | ΔNF = −0.5 m (más profundo): Δσ′c (%) | ΔGeq (%) | ΔDeq (p.p.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | −7 | −3.0 | +0.2 | +7 | +3.1 | −0.2 |
| T2 | −6 | −2.6 | +0.2 | +6 | +2.7 | −0.2 |
| T3 | −5 | −2.2 | +0.1 | +5 | +2.3 | −0.1 |
| T4 | −7 | −3.1 | +0.2 | +7 | +3.2 | −0.2 |
| T5 | −6 | −2.7 | +0.2 | +6 | +2.8 | −0.2 |

**Tabla 16**

*Sensibilidad a $K_0$ (referencia 0.55) en γ = 0.10 %.*

| Tramo | $K_0$ = 0.50: Δσ′c (%) | ΔGeq (%) | ΔDeq (p.p.) | $K_0$ = 0.60: Δσ′c (%) | ΔGeq (%) | ΔDeq (p.p.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| T1 | −4 | −1.7 | +0.1 | +4 | +1.8 | −0.1 |
| T2 | −4 | −1.6 | +0.1 | +4 | +1.7 | −0.1 |
| T3 | −3 | −1.3 | +0.1 | +3 | +1.4 | −0.1 |
| T4 | −4 | −1.6 | +0.1 | +4 | +1.7 | −0.1 |
| T5 | −4 | −1.6 | +0.1 | +4 | +1.7 | −0.1 |

- **Contraste con antecedentes**

Arévalo & Villegas, 2021; INGEMMET (2008). Los resultados confirman la dependencia con IP de $G/G_{max}$ y D reportada por Vucetic & Dobry (1991) y muestran una sensibilidad al estado tensional compatible con Darendeli (2001). La factibilidad metodológica de estimar curvas con insumos mínimos es consistente con el Masing modificado de González-Blandón y Romo (2011) y con el patrón de curvas normalizadas documentado por Gaudiosi et al. (2023). En términos regionales, la variabilidad de sitio evidenciada por Barrientos Hanco (2023) se refleja en las diferencias por tramo; y a escala local, las condiciones CL- CH con NF somero son congruentes con los rangos de w, γ y $\sigma'_c$ adoptados.

Adicionalmente, cuando se contrastaron las envolventes locales con familias de referencia para IP≈25, se obtuvieron MAE de 0.03 – 0.06 en $G/G_{max}$ y 0.35 – 0.70% en D(γ), con $R^2$ de 0.92 - 0.96 y 0.88 - 0.93, respectivamente; estas magnitudes son acordes con desvíos típicos reportados en bases compiladas y refuerzan la validez de uso de curvas locales en Yarinacocha.

**Tabla 17**

*Tabla de contraste con los antecedentes*

| Conclusión del estudio | Evidencia internacional | Evidencia nacional | Evidencia local | Comentario de consistencia |
|---|---|---|---|---|
| Masing modificado reproduce $G/G_{max}$ y D con insumos mínimos | González-Blandón & Romo (2011); Gaudiosi et al. (2023) | - | - | révalo & Villegas (2021) |
| IP y $\sigma'_c$ controlan rigidez y degradación (H1) | Vucetic & Dobry (1991); Darendeli (2001) | Barrientos Hanco (2023) | - | Dependencia con IP y variación espacial de sitio |
| Geq–Deq útiles en 1D/ISE (H3) | Seed-Idriss; Ishihara | - | INGEMMET (2008) | Forma monótona coherente con estratigrafía y NF |
| Geq–Deq útiles en 1D/ISE (H3) | Darendeli (2001); compilaciones recientes | NTE E.030 (contexto de uso) | Arévalo & Villegas (2021) | Parámetros aplicables y trazables al sitio |

## CONCLUSIONES

- La estimación de propiedades dinámicas mediante el modelo Masing modificado resultó adecuada para las arcillas de la ribera de Yarinacocha, generando curvas $G/G_{max}(\gamma)$ y $D(\gamma)$ físicamente consistentes en 0.001–1.00 %. Esto es coherente con el enfoque de González-Blandón y Romo (2011) de parametrizar módulo y amortiguamiento con insumos mínimos (IP y estado tensional), y se alinea con compilaciones recientes como Gaudiosi et al. (2023) respecto a la forma típica de las curvas normalizadas para arcillas. A nivel local, Arévalo & Villegas (2021) reportan suelos CL- CH y humedades altas en el malecón San José, consistentes con las premisas adoptadas aquí.
- La variación de IP y del confinamiento efectivo $\sigma'_c$ entre tramos controló la rigidez inicial y la degradación de $G/G_{max}$: tramos con mayor $\sigma'_c$ mostraron mayor rigidez y menor degradación para la misma γ. Esto confirma H1 y concuerda con la dependencia respecto al IP mostrada por Vucetic & Dobry (1991) y con la sensibilidad al estado tensional descrita por Darendeli (2001). En el plano nacional, estudios de microzonificación como Barrientos Hanco (2023) evidencian variación espacial de condiciones de sitio, lo que apoya la necesidad de parametrizar por tramo.
- Las curvas representativas por tramo presentaron degradación monotónica de rigidez y aumento gradual de amortiguamiento, sin cruces ni discontinuidades no físicas. Esto respalda H2 y es consistente con el marco clásico (p. ej., Seed & Idriss; Ishihara) y con evidencias recientes en arcillas lacustres de alta plasticidad (p. ej., Mayoral et al., 2025 para el caso de Ciudad de México). Localmente, la variabilidad estratigráfica y de NF referida por INGEMMET (2008) explica diferencias leves entre tramos sin comprometer la forma global de las curvas.
- Los parámetros equivalentes Geq y Deq obtenidos a $\gamma = 0.01\,\%, 0.10\,\%, 0.50\,\%$ son operativos para análisis de respuesta sísmica 1D e interacción suelo-estructura. Esto valida H3 y es coherente con el uso ingenieril reportado en la literatura (p. ej., Darendeli,

2001; compilaciones recientes tipo Gaudiosi et al., 2023). En el contexto peruano, su empleo como insumo local mejora la trazabilidad frente a la NTE E.030, y en Yarinacocha aporta sobre las bases físicas y de clasificación ya reportadas por Arévalo & Villegas (2021).

- El empleo de parámetros dinámicos locales reduce la incertidumbre asociada al NF y al estado tensional en Yarinacocha y mejora la predicción de la demanda sísmica. Este hallazgo es consistente con la recomendación internacional de calibración por plasticidad (p. ej., Vucetic & Dobry, 1991; Mayoral et al., 2025) y con la evidencia nacional de variabilidad de sitio (p. ej., Barrientos Hanco, 2023). En términos aplicados, los resultados son pertinentes para cimentaciones someras, tanques, estructuras en borde lacustre y muros de contención en la ribera.

## RECOMENDACIONES

- Para realizar el análisis de respuesta sísmica 1D y el diseño geotécnico local, se recomienda emplear los valores de Geq y Deq obtenidos en este estudio por tramo y por estrato en lugar de curvas genéricas. Indicar explícitamente en los modelos el rango de validez (IP≈24–26 %, $\sigma'_c$ y NF reportados) y la deformación compatible seleccionada para cada combinación de demanda y tipología estructural.
- El análisis geotécnico del sitio debe ser considerado la zonificación por tramos, dado que el depósito no es homogéneo. La asignación de parámetros dinámicos debe realizarse tramo-específica, especialmente en proyectos cercanos a borde de lámina de agua.
- Analizar la influencia de variaciones estacionales del nivel freático, en especial en zonas próximas al espejo de agua, ya que estas variaciones pueden modificar significativamente el confinamiento efectivo y la rigidez inicial del suelo.
- Para estructuras sensibles o cimentaciones profundas, complementar los resultados con ensayos dinámicos avanzados (como columna resonante o corte cíclico) para afinar el comportamiento en pequeñas deformaciones (<0.005 %).
- En estudios o investigaciones de interacción suelo-estructura, seleccionar el nivel de deformación representativo de acuerdo a la solicitación estructural, utilizando las curvas G/Gmax(γ) y D(γ) como base para la calibración y comportamiento no lineal.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar Bardales, Z. (2012). Actualización de la microzonificación sísmica de la ciudad de Lima. Presentación técnica, CISMID-FIC-UNI.

Alva Hurtado, J. E. (2002). Respuesta dinámica de los suelos de Lima. CISMID-FIC-UNI.

Ansal, A., & Özkan, M. Y. (2020). Site response analysis and seismic microzonation: Recent advances. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 131, 106003.

Arevalo Borbor, S. L., & Villegas Flores, P. A. (2021). *Análisis de Suelos Arcillosos para el Diseño de Cimentaciones Piloteadas en Malecón San José, Laguna Yarinacocha, Ucayali.*

Arias, J. (2020). *Proyecto de tesis. Guía para la elaboración.* Canadá: Universidad de Columbia Británica.

ASTM International. (2021). ASTM D7263-21: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Density (Unit Weight) of Soil Specimens. ASTM International.

Barrientos Hanco, M. F. (2023). *Estudio de microzonificación sísmica para la reducción del riesgo de desastres en la Ciudad Universitaria de Perayoc–Cusco, 2022* [Tesis]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Bardet, J. P., Ichii, K., & Lin, C. H. (2000). EERA: A computer program for equivalent-linear earthquake site response analyses of layered soil deposits. University of Southern California.

Castillo Suárez, L. M. (2019). *Calibración de parámetros para modelación dinámica de los suelos.* Tesis para optar el grado de maestro en ingeniería civil énfasis en geotecnia, Universidad del Norte, Barranquilla.

Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). (2016). Mapa de microzonificación sísmica de la ciudad de Lima (actualizado al 2016). CISMID-FIC-UNI.

CENEPRED. (s.f.). Estudio de microzonificación sísmica y peligros múltiples del distrito de Ventanilla. Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres, Lima, Perú.

Copa Zevallos, C. S., & Hinojosa Hilares, H. J. (2023). *Zonificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos y capacidad portante para la construcción de viviendas unifamiliares en los centros poblados de San José y San Juan de Yarinacocha-Ucayali.* Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil, Universidad Nacional de Ucayali, Pucallpa.

Darendeli, M. B. (2001). Development of a new family of normalized modulus reduction and material damping curves (Doctoral dissertation). The University of Texas at Austin.

Díaz Delgadillo, N. M., & Castillo Vargas, J. D. (2020). *Efectos de fuerzas dinámicas aplicadas por equipos de construcción sobre suelos blandos de la sabana de Bogotá*

Galindo Aires, R. Á. (2010). *Análisis, modelización e implementación numérica del comportamiento de suelos blandos ante la combinación de tensiones tangenciales estáticas y cíclicas.* (Doctoral dissertation, Caminos).

Garzón Tocora, J., & Gerena Rodríguez, I. J. (2016). *Evaluación de las propiedades dinámicas de un suelo cohesivo reconstituido, bajo la reproducción en equipo triaxial dinámico de una fuente sísmica conocida.* Bogotá.

Gaudiosi, P., Amoroso, S., Foti, S., Lai, C. G., Pagliaroli, A., Puglia, R., et al. (2023). A curated dataset of normalized shear modulus reduction and damping curves for soils. *Scientific Data, 10*, 850.

Gonzáles Blandón, C. M., & Romo Organista, M. P. (2011). ESTIMACIÓN DE PROPIEDADES DINÁMICAS DE ARCILLAS. *Revista de Ingeniería sísmica*(84), 1-23.

Google LLC. (2025). Google Earth (Versión web). https://earth.google.com/

Hashash, Y. M. A., Musgrove, M. I., Harmon, J. A., Groholski, D. R., Phillips, C. A., & Park, D. (2017). DEEPSOIL 7.0, user manual and tutorial. University of Illinois at Urbana-Champaign

Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2017). Zonificación sísmica–geotécnica del área de Chosica (resumen ejecutivo). IGP.

INDECI. (2017). Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao. Instituto Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú.

Hardin, B. O., & Drnevich, V. P. (1972). Shear modulus and damping in soils: Measurement and parameter effects. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 98(6), 603–624.

Hashash, Y. M. A., Musgrove, M. I., Harmon, J. A., Groholski, D. R., Phillips, C. A., & Park, D. (2024). DEEPSOIL (v7.1): Manual del usuario (versión traducida al español). Universidad de Illinois en Urbana-Champaign.

Hernández, R. (2018). *Metodología de la Investigación.* México: Mc Graw Hill. Obtenido de https://virtual.cuautitlan.unam.mx/rudics/?p=2612

Huanca Cutipa, B., Flores Terrazas, R., & Mendoza Ramirez, W. (2019). Estudio geotécnico con fines de cimentación para tres asociaciones de vivienda en Tacna. *Ciencia & Desarrollo*(24), 74-84. doi:https://doi.org/10.33326/26176033.2019.24.788

Ishihara, K. (1996). Soil Behaviour in Earthquake Geotechnics. Oxford University Press.

Kramer, S. L. (1996/2024). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall / CRC Press

Kaklamanos, J., & Bradley, B. A. (2019). Challenges in predicting nonlinear site response: A review. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 119, 407–418.

Kottke, A. R., & Rathje, E. M. (2019). A semi-empirical model for nonlinear site response. Bulletin of the Seismological Society of America, 109(2), 636–651.

Mayoral, J. M., et al. (2025). *The seismic response of Mexico City's high-plasticity clays during extreme earthquakes* [Preprint].

Mayoral, J. M., Castañon, E., & Tepalcapa, S. (2019). Respuesta sísmica de arcillas de alta plasticidad durante eventos sísmicos. *Geotechnical Engineering in the XXI Century: Lessons learned and future challenges*, 2088-2095.

Mendoza, M., & colaboradores. (2017). Curvas de degradación de rigidez y relación de amortiguamiento de arenas carbonatadas. Publicación técnica en español.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2018). Norma Técnica E.050: Suelos y Cimentaciones. Reglamento Nacional de Edificaciones, Perú.

(Pucallpa) Journal of the Selva Andina Biosphere. (2022). *Características geomecánicas del suelo de relleno controlado para cimentaciones, Pucallpa–Perú*.

Román Claros, W. (2022). *Instalación e implementación de una caseta acelerográfica para el registro, procesamiento, análsiis y correlación de parámetros de señales sísmicas en Ucayali.* Pucallpa.

Rodríguez, S. J., López , A. F., & Ledesma, A. (2019). Identificación no lineal de movimientos sísmicos en el lecho rocoso ingenieril a partir de registros tomados en la superficie. *In XII Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Sísmica: Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica*, 1-12

Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1970). Soil moduli and damping factors for dynamic response analyses (EERC 70-10). University of California, Berkeley.

Schnabel, P. B., Lysmer, J., & Seed, H. B. (1972). SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites (EERC 72-12). University of California, Berkeley.

Valentin Melgarejo, Y. (2019). *Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de*

*Catahuasi, 2019. 2019.* Lima. Obtenido de https://hdl.handle.net/20.500.12692/53195

Vucetic, M., & Dobry, R. (1991). Effect of soil plasticity on cyclic response. Journal of Geotechnical Engineering, 117(1), 89–107. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1991)117:1(89)

# ANEXOS

## ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLE DE ESTUDIO | DIMENSIONES E INDICADORES | METODOLOGÍA |
|---|---|---|---|---|---|
| **PROBLEMA GENERAL**<br>¿Cómo estimar, mediante un modelo Masing modificado, las propiedades dinámicas del suelo (rigidez y amortiguamiento en función de la deformación cortante) de las arcillas de la ribera del lago Yarinacocha, usando parámetros geotécnicos accesibles y representativos del estado de esfuerzos in situ? | **OBJETIVO GENERAL**<br>Estimar las propiedades dinámicas del suelo (rigidez y amortiguamiento en función de la deformación cortante) de las arcillas de la ribera del lago Yarinacocha mediante un modelo Masing modificado. | **HIPÓTESIS GENERAL**<br>HG: El modelo Masing modificado permite estimar de manera consistente las curvas de rigidez relativa (G/Gmax) y amortiguamiento (D) en el rango de deformaciones sísmicamente relevante. | Dependiente: Propiedades dinámicas del suelo.<br>Independiente: Condición físico–geotécnica del suelo. | Dependiente: $G/G_{max}(\gamma)$, $D(\gamma)$, parámetros equivalentes ($G_{eq}$, $D_{eq}$) por estrato.<br>Independiente: IP; σ′c; nivel freático ($z_w$); γ_húm, γ_sat; $K_0$. | **Tipo**: Cuantitativa, aplicada. **Nivel**: Descriptivo–correlacional. Diseño: No experimental, transversal. **Técnicas e instrumentos**: Calicatas y descripción estratigráfica; ensayos de índice en laboratorio; cálculo geostático de σ′c; estimación de curvas por Masing modificado; análisis estadístico y sensibilidad (NF ±0.5 m, $K_0$ 0.50–0.60). |
| **PROBLEMAS ESPECÍFICOS**<br>¿Cómo caracterizar la variación del índice de plasticidad (IP) y del confinamiento efectivo (σ′c) en los distintos tramos de la ribera del lago Yarinacocha? | **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**<br>Caracterizar la variación del IP y σ′c por tramo, considerando la influencia del nivel freático y las condiciones estratigráficas locales. | **HIPÓTESIS ESPECÍFICOS**<br>H1: La variación de IP y σ′c entre tramos genera diferencias consistentes en la rigidez inicial del suelo y en el grado de ablandamiento con la deformación cortante. | Dependiente: rigidez inicial (Gmax estimado), tendencia de degradación de G/Gmax.<br>Independiente: IP (%), σ′c (kPa), zw (m), γ_húm y γ_sat (kN/m³), $K_0$ (–). | Dimensiones:<br>- Estado de consolidación.<br>- Plasticidad.<br>- Confinamiento efectivo.<br>Indicadores:<br>- Mediana y rango de IP por tramo.<br>- σ′c calculado por $K_0 \cdot \sigma'v$.<br>- Variación espacial respecto a NF. | **Análisis e interpretación de resultados**: Agrupamiento por IP (por tramo), cálculo de medianas por grupo, generación de curvas representativas y contraste entre rangos; verificación de homogeneidad geotécnica por tramo. |
| ¿Cómo generar curvas dinámicas representativas de rigidez relativa (G/Gmax) y amortiguamiento (D) para cada tramo, en función del IP y σ′c obtenidos? | Generar curvas dinámicas representativas de G/Gmax(γ) y D(γ) para cada tramo, basadas en el IP y σ′c determinados. | H2: Las curvas dinámicas por tramo muestran degradación monotónica de la rigidez y aumento progresivo del amortiguamiento con γ, coherentes con arcillas de plasticidad media bajo confinamiento efectivo típico ribereño. | Dependiente: curvas G/Gmax(γ) y D(γ) representativas por tramo.<br>Independiente: IP y σ′c por tramo (entradas del modelo). | Dimensiones:<br>- Comportamiento histerético.<br>- Degradación de rigidez.<br>- Disipación de energía.<br>Indicadores:<br>- Valor G/Gmax a γ = 0.01%, 0.10%, 1%.<br>- Valor D a γ = 0.10%.<br>- Forma de curva | Masing modificado; construcción de curvas por calicata → promedio/intervalo por tramo; verificación de consistencia (sin cruces, sin no-física). |
| ¿Cómo derivar y organizar valores de rigidez y amortiguamiento equivalentes, en formatos de uso directo para análisis de respuesta sísmica 1D e interacción suelo–estructura? | Derivar y organizar parámetros equivalentes de rigidez (Geq) y amortiguamiento (Deq) en tablas y formatos de uso directo, aptos para respuesta de sitio e interacción suelo–estructura en Yarinacocha. | H3: Los parámetros equivalentes Geq y Deq obtenidos son representativos y operativos para análisis de respuesta sísmica 1D e interacción suelo–estructura, mostrando mayor pertinencia local que valores genéricos no calibrados. | Dependiente: Geq (kg/cm²) y Deq (%) a γ = 0.01 %, 0.10 %, 0.50 %.<br>Independiente: IP y σ′c de referencia; γ compatible seleccionada. | Dimensiones:<br>- Representatividad local.<br>- Consistencia módulo–amortiguamiento.<br>Indicadores:<br>- Geq y Deq a γ = 0.01%, 0.10%, 0.50%.<br>- Comparación con valores genéricos. | interpolación en eje log(γ) sobre curvas representativas; cálculo Geq = (G/Gmax) ·Gmax; reporte de Deq; formato listo para SHAKE/DEEPSOIL/STRATA. |

## ANEXO 2. PANEL FOTOGRÁFICO













PROYECTO DE TESIS
"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025"
C-6


PROYECTO DE TESIS
"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025"
C-9


PROYECTO DE TESIS
"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025"
C-12


PROYECTO DE TESIS
C-15




PROYECTO DE TESIS
"MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025"
C-1 al 15


(ENSAYO DE LABORATORIO)
PROYECTO: MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI
TESISTAS: - MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY
- XENIA TAMARA BARRIOS PUMA


(ENSAYO DE LABORATORIO)
PROYECTO: MODELACION TIPO
MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR
LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE
SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL
LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI
TESISTAS: – MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY
– XENIA TAHARA BARBOZA PIMA


(ENSAYO DE LABORATORIO)
PROYECTO: MODELACION TIPO
MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR
LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE
SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL
LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI
TESISTAS: – MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY
– XENIA TAHARA BARBOZA PIMA

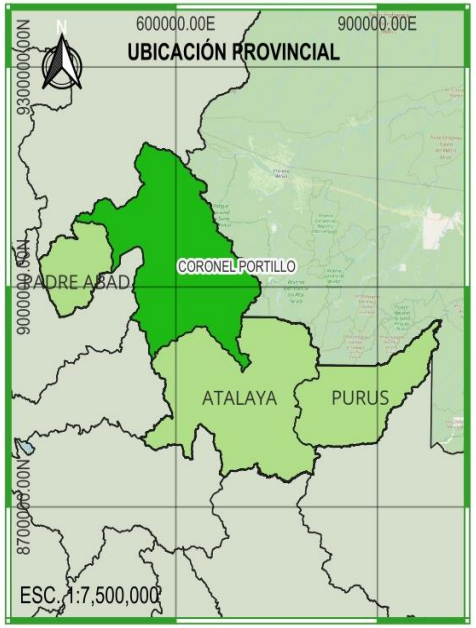

MODELACION TIPO
MODIFICADO PARA ESTIMAR
ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL
MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY

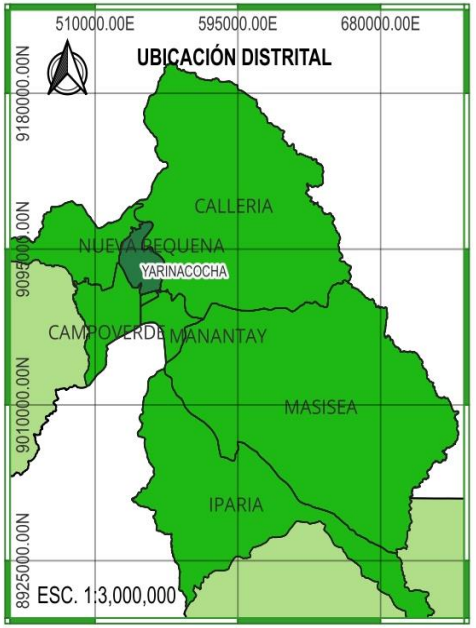

MODELACION TIPO

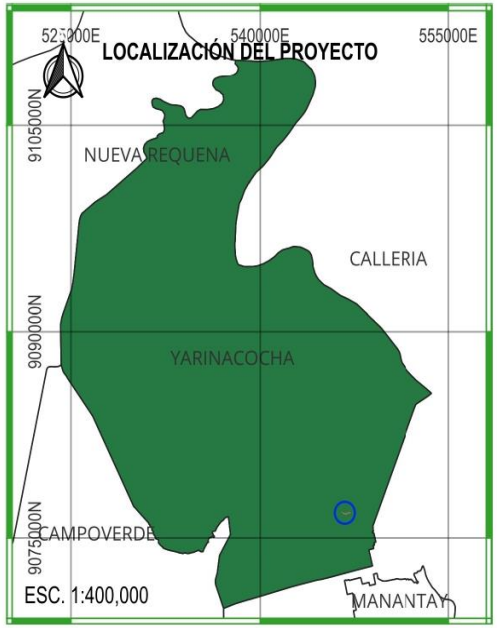

(ENSAYO TRIAXIAL)
PROYECTO: MODELACION TIPO
MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR
LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE
SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL
LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI
TESISTAS: - MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY
- YENIA TAMARA BARRAZA PUMA


(ENSAYO TRIAXIAL)
PROYECTO: MODELACION TIPO
MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR
LAS PROPIEDADES DINAMICAS DE
SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL
LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI
TESISTAS: - MARIA CRISTINA VALENCIA ACUY
- YENIA TAMARA BARRAZA PUMA







**COORDENADAS UTM - ZONA 18S - DATUM WGS84**

| N° | Código | X (m) | Y (m) |
|---|---|---|---|
| 1 | C-1 | 546,471.00 | 9,076,919.00 |
| 2 | C-2 | 546,489.00 | 9,076,887.00 |
| 3 | C-3 | 546,514.00 | 9,076,868.00 |
| 4 | C-4 | 546,621.00 | 9,076,807.00 |
| 5 | C-5 | 546,652.00 | 9,076,785.00 |
| 6 | C-6 | 546,686.00 | 9,076,787.00 |
| 7 | C-7 | 546,822.00 | 9,076,708.00 |
| 8 | C-8 | 546,845.00 | 9,076,733.00 |
| 9 | C-9 | 546,861.00 | 9,076,775.00 |
| 10 | C-10 | 547,021.00 | 9,076,838.00 |
| 11 | C-11 | 547,054.00 | 9,076,833.00 |
| 12 | C-12 | 547,012.00 | 9,076,813.00 |
| 13 | C-13 | 547,137.00 | 9,076,872.00 |
| 14 | C-14 | 547,140.00 | 9,076,827.00 |
| 15 | C-15 | 547,115.00 | 9,076,808.00 |

Universidad Nacional de Ucayali

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

PLANO:

**PC**

**TESIS: "MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025"**

Tesistas: María Cristina Valencia Acuy
Xhenia Tamara Barboza Poma
Asesor : Ing. Devyn Omar Donayre Hernández

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-01
Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.50

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | 5.3 | 5.3 | 94.7 |
| 2" | 50.300 | 6.2 | 11.6 | 88.4 |
| 1 1/2" | 38.100 | 8.2 | 19.7 | 80.3 |
| 1" | 25.400 | 3.4 | 23.1 | 76.9 |
| 3/4" | 19.050 | 2.5 | 25.6 | 74.4 |
| 1/2" | 12.700 | 5.3 | 30.9 | 69.1 |
| 3/8" | 9.525 | 1.7 | 32.6 | 67.4 |
| 1/4" | 6.350 | 2.0 | 34.6 | 65.4 |
| Nº4 | 4.760 | 4.5 | 39.2 | 60.8 |
| Nº10 | 2.000 | 3.8 | 43.0 | 57.0 |
| Nº20 | 0.840 | 5.1 | 48.1 | 51.9 |
| Nº30 | 0.590 | 3.5 | 51.6 | 48.4 |
| Nº40 | 0.426 | 1.8 | 53.3 | 46.7 |
| Nº60 | 0.250 | 7.0 | 60.3 | 39.7 |
| Nº100 | 0.149 | 3.0 | 63.3 | 36.7 |
| Nº200 | 0.074 | 2.7 | 66.0 | 34.0 |
| FONDO | | 34.0 | | |

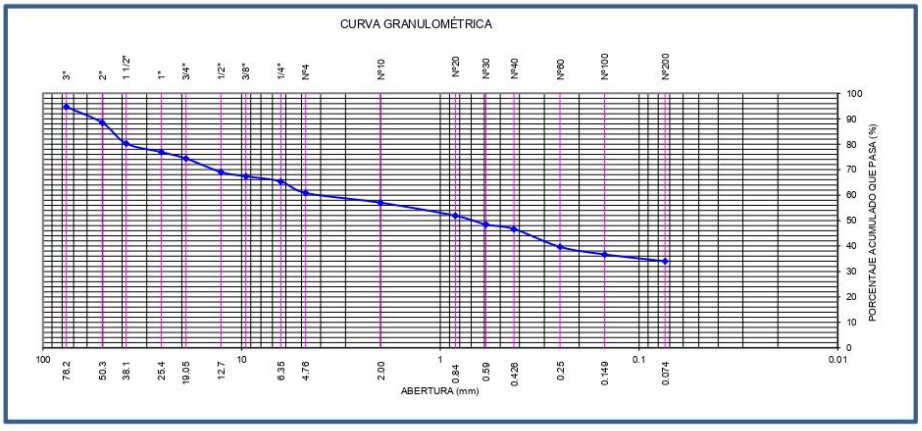
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | 39.2 |
| % Arena | : | 26.8 |
| % Finos | : | 34.0 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 22.4 |
| Límite Plástico (%) | : | 12.8 |
| Indice Plástico (%) | : | 9.6 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **GC**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-2-4(0)**

**Contenido de Humedad (%)** : **29.1**




***Observaciones*** :



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamalloa Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-01
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.50 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | | | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 1.0 | 1.0 | 99.0 |
| Nº40 | 0.426 | 1.4 | 2.4 | 97.6 |
| Nº60 | 0.250 | 2.3 | 4.7 | 95.3 |
| Nº100 | 0.149 | 4.0 | 8.7 | 91.3 |
| Nº200 | 0.074 | 5.3 | 14.1 | 85.9 |
| FONDO | | 85.9 | | |

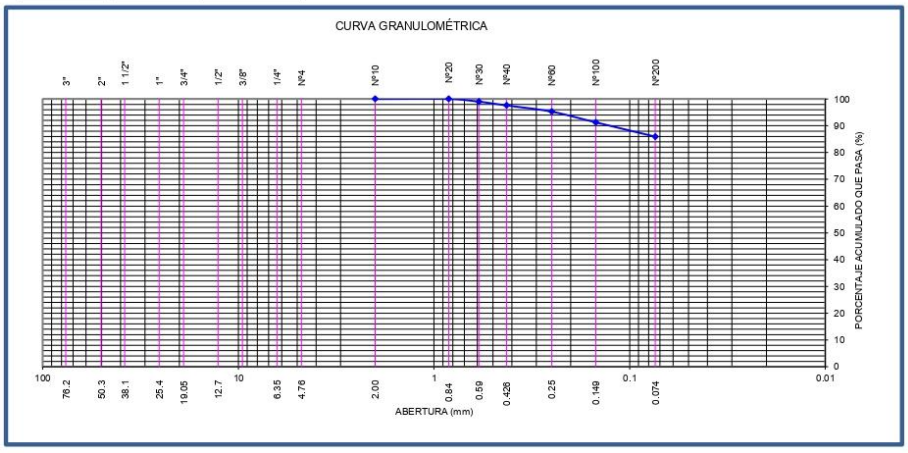
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 14.1 |
| % Finos | : | 85.9 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 50.7 |
| Límite Plástico (%) | : | 25.0 |
| Indice Plástico (%) | : | 25.8 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **29.9**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-02
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.10 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | 100.0 |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | - | - | 100.0 |
| Nº4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.8 | 0.8 | 99.2 |
| Nº40 | 0.426 | 1.1 | 1.9 | 98.1 |
| Nº60 | 0.250 | 2.1 | 4.1 | 95.9 |
| Nº100 | 0.149 | 5.1 | 9.1 | 90.9 |
| Nº200 | 0.074 | 8.1 | 17.3 | 82.7 |
| FONDO | | 82.7 | | |

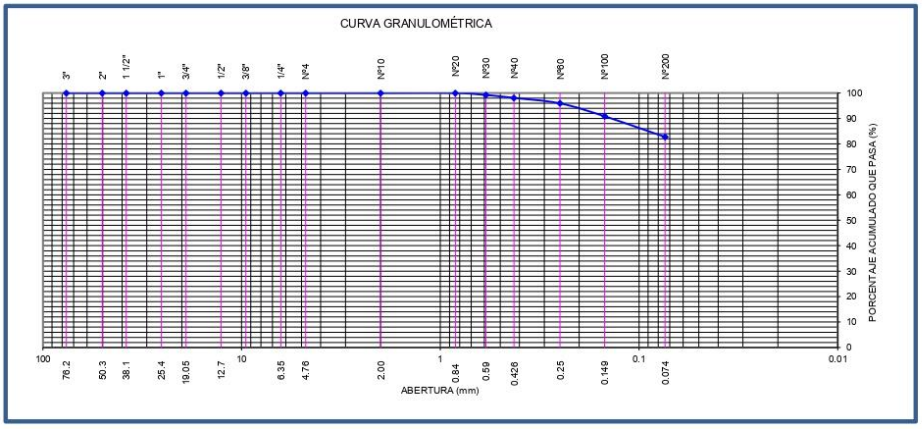
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 17.3 |
| % Finos | : | 82.7 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.0 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.2 |
| Indice Plástico (%) | : | 24.8 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **26.1**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamalloa Vargas
Reg. CIP Nº 222120

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-03
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.20 - 3.00

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.9 | 0.9 | 99.1 |
| Nº40 | 0.426 | 1.5 | 2.4 | 97.6 |
| Nº60 | 0.250 | 2.4 | 4.8 | 95.2 |
| Nº100 | 0.149 | 4.4 | 9.2 | 90.8 |
| Nº200 | 0.074 | 7.5 | 16.7 | 83.3 |
| FONDO | | 83.3 | | |

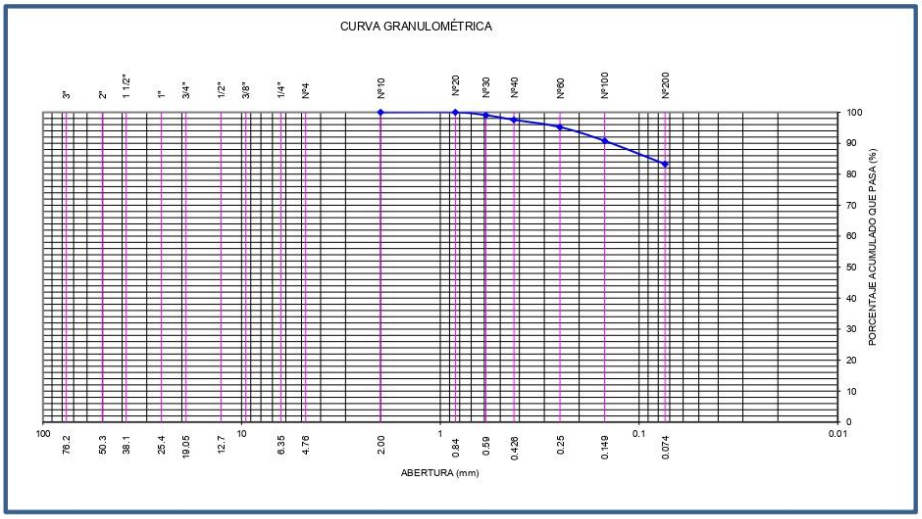
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 16.7 |
| % Finos | : | 83.3 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 53.9 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.8 |
| Indice Plástico (%) | : | 26.1 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **25.7**




*Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante*



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

| | | |
|---|---|---|
| **SOLICITANTES** | : | **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA** |
| | | **BARBOZA POMA - XENIA TAMARA** |
| **PROYECTO** | : | "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI" |
| **UBICACIÓN** | : | RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA |
| **FECHA** | : | AGOSTO 2025 |

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-03
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.20 - 3.00

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.9 | 0.9 | 99.1 |
| Nº40 | 0.426 | 1.5 | 2.4 | 97.6 |
| Nº60 | 0.250 | 2.4 | 4.8 | 95.2 |
| Nº100 | 0.149 | 4.4 | 9.2 | 90.8 |
| Nº200 | 0.074 | 7.5 | 16.7 | 83.3 |
| FONDO | | 83.3 | | |

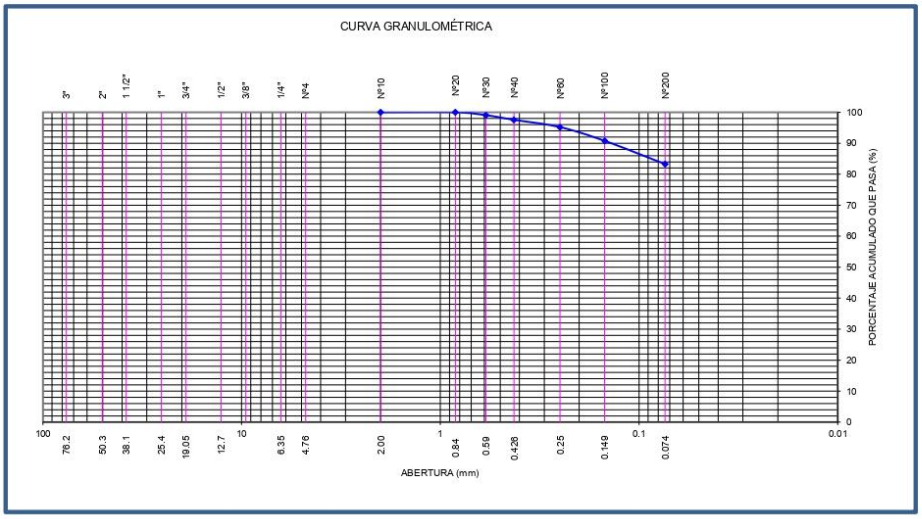
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 16.7 |
| % Finos | : | 83.3 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 53.9 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.8 |
| Indice Plástico (%) | : | 26.1 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **25.7**




*Nota: La muestra fue remitida e identificada por el Solicitante*

Av. Amazonas Mz.303b Lt. 01 - Yarinacocha - Cel: 920819979 - Email: geotecjsb@gmail.com - jsalasb@uni.pe

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-04
Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.60

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | 3.4 | 3.4 | 96.6 |
| 2" | 50.300 | 5.9 | 9.2 | 90.8 |
| 1 1/2" | 38.100 | 4.0 | 13.2 | 86.8 |
| 1" | 25.400 | 4.7 | 17.9 | 82.1 |
| 3/4" | 19.050 | 3.6 | 21.5 | 78.5 |
| 1/2" | 12.700 | 1.7 | 23.2 | 76.8 |
| 3/8" | 9.525 | 6.9 | 30.1 | 69.9 |
| 1/4" | 6.350 | 3.0 | 33.1 | 66.9 |
| Nº4 | 4.760 | 3.3 | 36.4 | 63.6 |
| Nº10 | 2.000 | 5.6 | 42.0 | 58.0 |
| Nº20 | 0.840 | 1.7 | 43.7 | 56.3 |
| Nº30 | 0.590 | 4.3 | 48.0 | 52.0 |
| Nº40 | 0.426 | 2.6 | 50.6 | 49.4 |
| Nº60 | 0.250 | 5.3 | 55.9 | 44.1 |
| Nº100 | 0.149 | 5.9 | 61.8 | 38.2 |
| Nº200 | 0.074 | 1.9 | 63.7 | 36.3 |
| FONDO | | 36.3 | | |

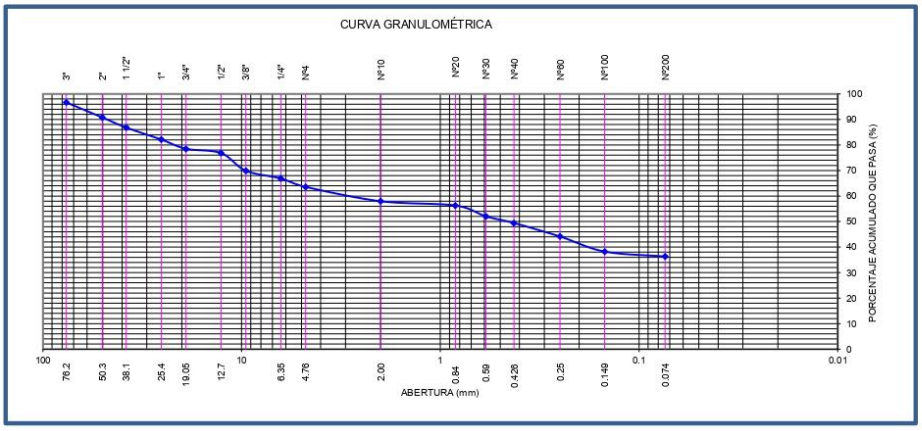
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | 36.4 |
| % Arena | : | 27.3 |
| % Finos | : | 36.3 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 22.7 |
| Límite Plástico (%) | : | 15.1 |
| Indice Plástico (%) | : | 7.6 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **GC**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-4(0)**

**Contenido de Humedad (%)** : **30.8**




***Observaciones***:



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**

**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"

**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-04
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.60 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.9 | 0.9 | 99.1 |
| Nº40 | 0.426 | 2.2 | 3.1 | 96.9 |
| Nº60 | 0.250 | 2.9 | 6.0 | 94.0 |
| Nº100 | 0.149 | 3.9 | 9.9 | 90.1 |
| Nº200 | 0.074 | 5.8 | 15.6 | 84.4 |
| FONDO | | 84.4 | | |

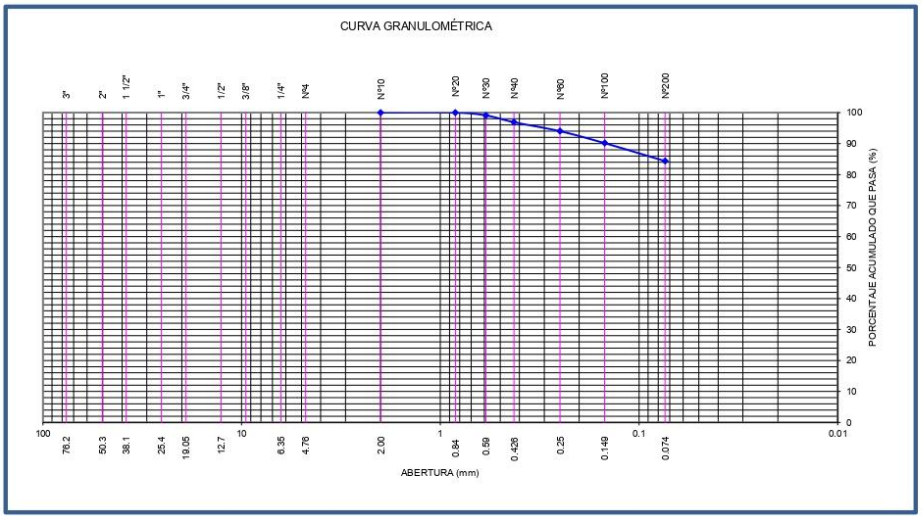
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 15.6 |
| % Finos | : | 84.4 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.6 |
| Límite Plástico (%) | : | 28.1 |
| Indice Plástico (%) | : | 24.5 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **30.4**




Av. Amazonas Mz.303b Lt. 01 - Yarinacocha - Cel: 920819979 - Email: geotecjsb@gmail.com - jsalasb@uni.pe

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zumba Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-05
Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.30

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | 5.4 | 5.4 | 94.6 |
| 2" | 50.300 | 6.3 | 11.6 | 88.4 |
| 1 1/2" | 38.100 | 7.4 | 19.1 | 80.9 |
| 1" | 25.400 | 3.6 | 22.7 | 77.3 |
| 3/4" | 19.050 | 2.6 | 25.3 | 74.7 |
| 1/2" | 12.700 | 5.5 | 30.7 | 69.3 |
| 3/8" | 9.525 | 1.7 | 32.4 | 67.6 |
| 1/4" | 6.350 | 2.7 | 35.2 | 64.8 |
| Nº4 | 4.760 | 4.5 | 39.6 | 60.4 |
| Nº10 | 2.000 | 4.0 | 43.6 | 56.4 |
| Nº20 | 0.840 | 4.7 | 48.3 | 51.7 |
| Nº30 | 0.590 | 3.6 | 51.9 | 48.1 |
| Nº40 | 0.426 | 2.0 | 54.0 | 46.0 |
| Nº60 | 0.250 | 6.5 | 60.5 | 39.5 |
| Nº100 | 0.149 | 2.7 | 63.2 | 36.8 |
| Nº200 | 0.074 | 2.3 | 65.5 | 34.5 |
| FONDO | | 34.5 | | |

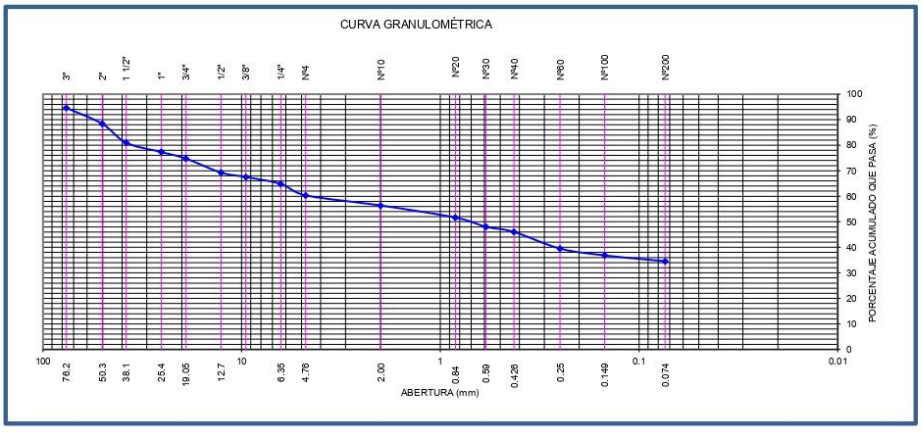
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | 39.6 |
| % Arena | : | 25.8 |
| % Finos | : | 34.5 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 27.7 |
| Límite Plástico (%) | : | 15.5 |
| Indice Plástico (%) | : | 12.1 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **GC**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-2-6(0)**

**Contenido de Humedad (%)** : **29.2**




***Observaciones:***



LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222120

**ENTIDAD** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-05
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.30 -3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | 100.0 |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | - | - | 100.0 |
| Nº4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.9 | 0.9 | 99.1 |
| Nº40 | 0.426 | 1.5 | 2.4 | 97.6 |
| Nº60 | 0.250 | 2.9 | 5.4 | 94.6 |
| Nº100 | 0.149 | 3.8 | 9.2 | 90.8 |
| Nº200 | 0.074 | 5.2 | 14.3 | 85.7 |
| FONDO | | 85.7 | | |

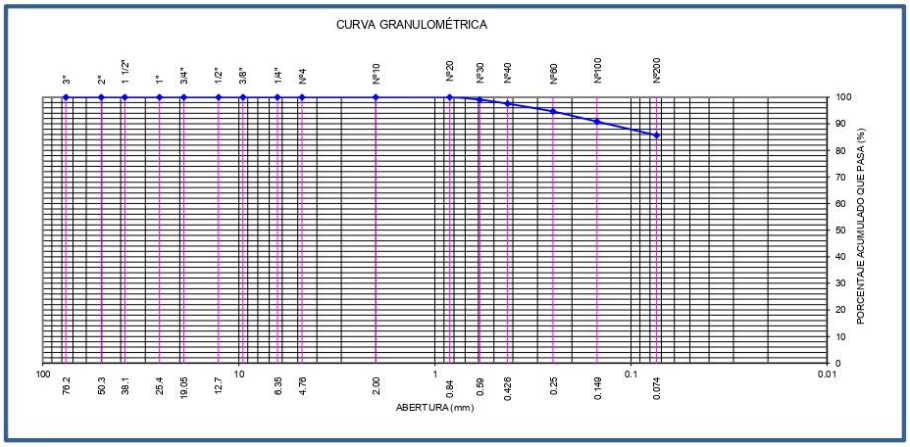
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | --- |
| % Arena | : | 14.3 |
| % Finos | : | 85.7 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.4 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.1 |
| Índice Plástico (%) | : | 25.3 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **28.7**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. RV MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222126

| | | |
|---|---|---|
| **ENTIDAD** | : | **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**<br>**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA** |
| **PROYECTO** | : | "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI" |
| **UBICACIÓN** | : | RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA |
| **FECHA** | : | AGOSTO 2025 |

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-06
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.10 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | 100.0 |
| 2" | 50.300 | - | - | 100.0 |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | 100.0 |
| 1" | 25.400 | - | - | 100.0 |
| 3/4" | 19.050 | - | - | 100.0 |
| 1/2" | 12.700 | - | - | 100.0 |
| 3/8" | 9.525 | - | - | 100.0 |
| 1/4" | 6.350 | - | - | 100.0 |
| Nº4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.8 | 0.8 | 99.2 |
| Nº40 | 0.426 | 1.2 | 2.0 | 98.0 |
| Nº60 | 0.250 | 1.9 | 3.9 | 96.1 |
| Nº100 | 0.149 | 4.0 | 7.9 | 92.1 |
| Nº200 | 0.074 | 4.7 | 12.6 | 87.4 |
| FONDO | | 87.4 | | |

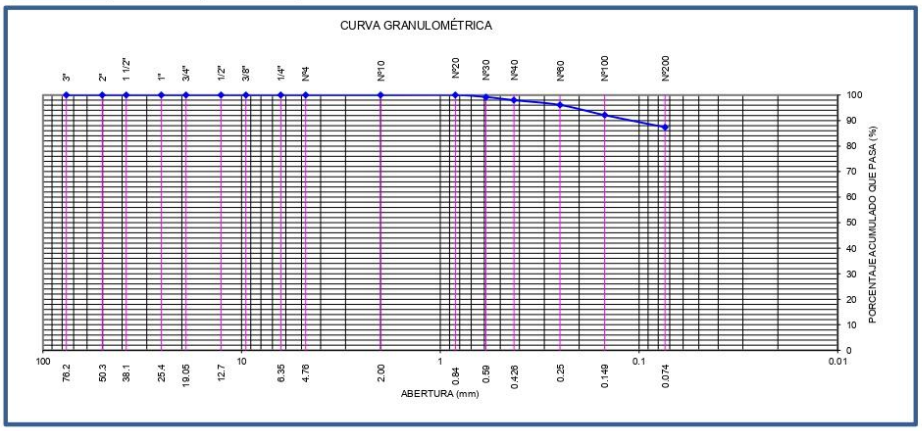
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 12.6 |
| % Finos | : | 87.4 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 51.1 |
| Límite Plástico (%) | : | 26.5 |
| Indice Plástico (%) | : | 24.5 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **27.3**




LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
TERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zumba Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-07
Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.70

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | 2.7 | 2.7 | 97.3 |
| 2" | 50.300 | 5.8 | 8.4 | 91.6 |
| 1 1/2" | 38.100 | 2.9 | 11.4 | 88.6 |
| 1" | 25.400 | 7.9 | 19.3 | 80.7 |
| 3/4" | 19.050 | 5.1 | 24.4 | 75.6 |
| 1/2" | 12.700 | 6.8 | 31.3 | 68.7 |
| 3/8" | 9.525 | 3.1 | 34.4 | 65.6 |
| 1/4" | 6.350 | 2.6 | 37.0 | 63.0 |
| Nº4 | 4.760 | 7.3 | 44.3 | 55.7 |
| Nº10 | 2.000 | 5.6 | 49.9 | 50.1 |
| Nº20 | 0.840 | 3.3 | 53.2 | 46.8 |
| Nº30 | 0.590 | 3.6 | 56.8 | 43.2 |
| Nº40 | 0.426 | 4.6 | 61.4 | 38.6 |
| Nº60 | 0.250 | 3.9 | 65.2 | 34.8 |
| Nº100 | 0.149 | 7.3 | 72.6 | 27.4 |
| Nº200 | 0.074 | 2.2 | 74.7 | 25.3 |
| FONDO | | 25.3 | | |

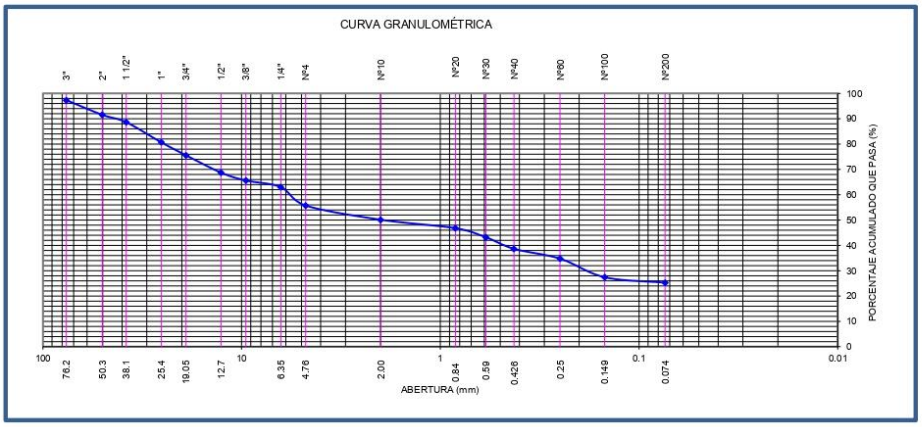
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | 44.3 |
| % Arena | : | 30.5 |
| % Finos | : | 25.3 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 23.1 |
| Límite Plástico (%) | : | 12.4 |
| Indice Plástico (%) | : | 10.7 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **GC**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-2-6(0)**

**Contenido de Humedad (%)** : **30.1**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**ENTIDAD** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-07
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.70 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | 100.0 |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | 0.6 | 0.6 | 99.4 |
| Nº30 | 0.590 | 0.9 | 1.5 | 98.5 |
| Nº40 | 0.426 | 2.0 | 3.5 | 96.5 |
| Nº60 | 0.250 | 1.7 | 5.2 | 94.8 |
| Nº100 | 0.149 | 4.0 | 9.2 | 90.8 |
| Nº200 | 0.074 | 4.0 | 13.2 | 86.8 |
| FONDO | | 86.8 | | |

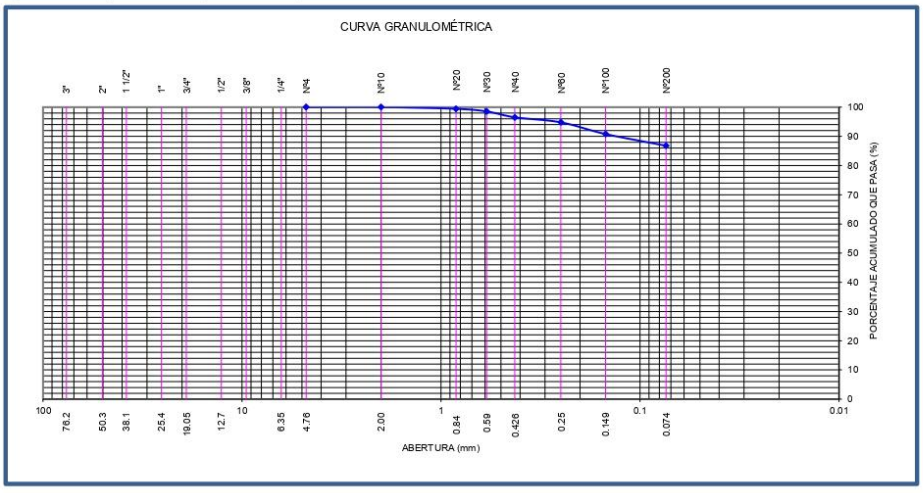
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 13.2 |
| % Finos | : | 86.8 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 53.1 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.6 |
| Indice Plástico (%) | : | 25.5 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **26.3**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamira Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-08
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.10 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.4 | 0.4 | 99.6 |
| Nº40 | 0.426 | 0.8 | 1.2 | 98.8 |
| Nº60 | 0.250 | 2.4 | 3.6 | 96.4 |
| Nº100 | 0.149 | 2.9 | 6.5 | 93.5 |
| Nº200 | 0.074 | 5.7 | 12.1 | 87.9 |
| FONDO | | 87.9 | | |

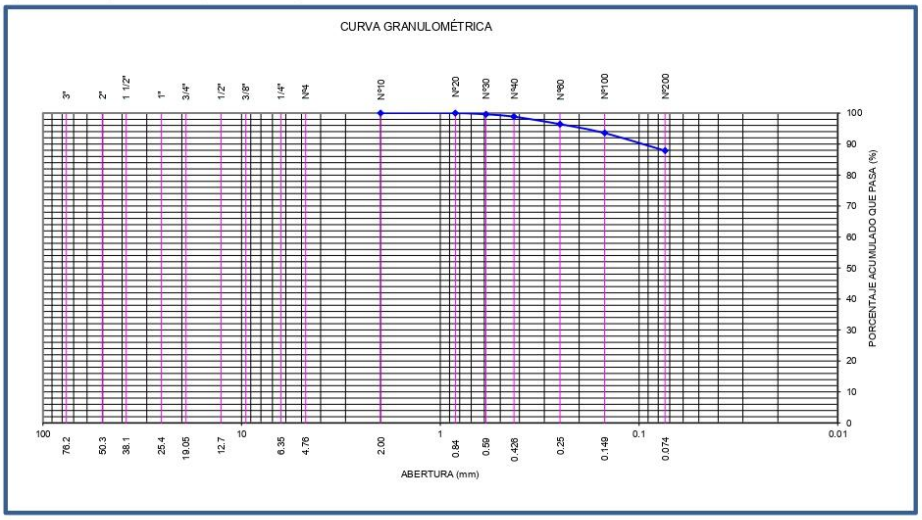
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 12.1 |
| % Finos | : | 87.9 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.8 |
| Límite Plástico (%) | : | 26.9 |
| Indice Plástico (%) | : | 25.9 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(12)**

**Contenido de Humedad (%)** : **25.8**




Av. Amazonas Mz.303b Lt. 01 - Yarinacocha - Cel: 920819979 - Email: geotecjsb@gmail.com - jsalasb@uni.pe

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamilla Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**SOLICITANTE** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-09
Muestra : M-1
Prof. (m.) : 0.00 - 0.60

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | 17.3 | 17.3 | 82.7 |
| 2" | 50.300 | 4.0 | 21.3 | 78.7 |
| 1 1/2" | 38.100 | 5.2 | 26.5 | 73.5 |
| 1" | 25.400 | 7.1 | 33.7 | 66.3 |
| 3/4" | 19.050 | 3.5 | 37.2 | 62.8 |
| 1/2" | 12.700 | 5.2 | 42.4 | 57.6 |
| 3/8" | 9.525 | 7.2 | 49.6 | 50.4 |
| 1/4" | 6.350 | 2.0 | 51.6 | 48.4 |
| Nº4 | 4.760 | 3.6 | 55.3 | 44.7 |
| Nº10 | 2.000 | 6.8 | 62.0 | 38.0 |
| Nº20 | 0.840 | 4.0 | 66.1 | 33.9 |
| Nº30 | 0.590 | 2.4 | 68.5 | 31.5 |
| Nº40 | 0.426 | 5.2 | 73.7 | 26.3 |
| Nº60 | 0.250 | 3.8 | 77.5 | 22.5 |
| Nº100 | 0.149 | 2.9 | 80.4 | 19.6 |
| Nº200 | 0.074 | 1.2 | 81.6 | 18.4 |
| FONDO | | 18.4 | | |

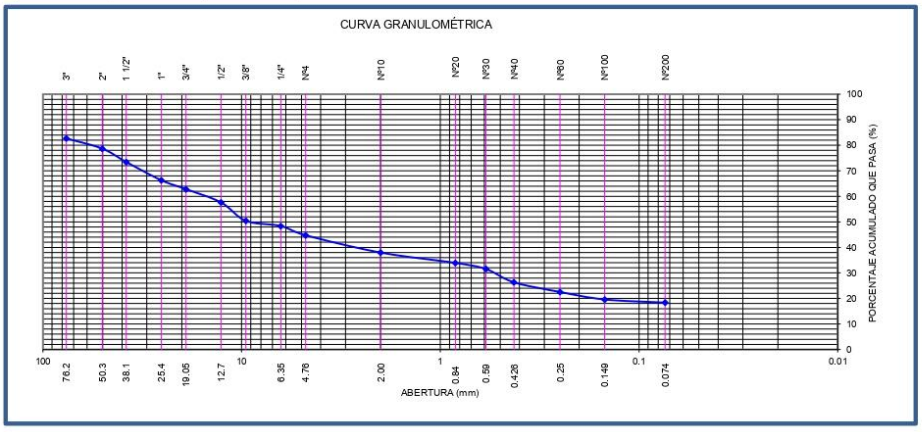
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | 55.3 |
| % Arena | : | 26.4 |
| % Finos | : | 18.4 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 25.2 |
| Límite Plástico (%) | : | 16.6 |
| Indice Plástico (%) | : | 8.7 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **GC**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-2-4(0)**

**Contenido de Humedad (%)** : **28.3**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamalloa Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-09
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.60- 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.7 | 0.7 | 99.3 |
| Nº40 | 0.426 | 1.1 | 1.8 | 98.2 |
| Nº60 | 0.250 | 1.9 | 3.8 | 96.2 |
| Nº100 | 0.149 | 5.2 | 9.0 | 91.0 |
| Nº200 | 0.074 | 7.1 | 16.1 | 83.9 |
| FONDO | | 83.9 | | |

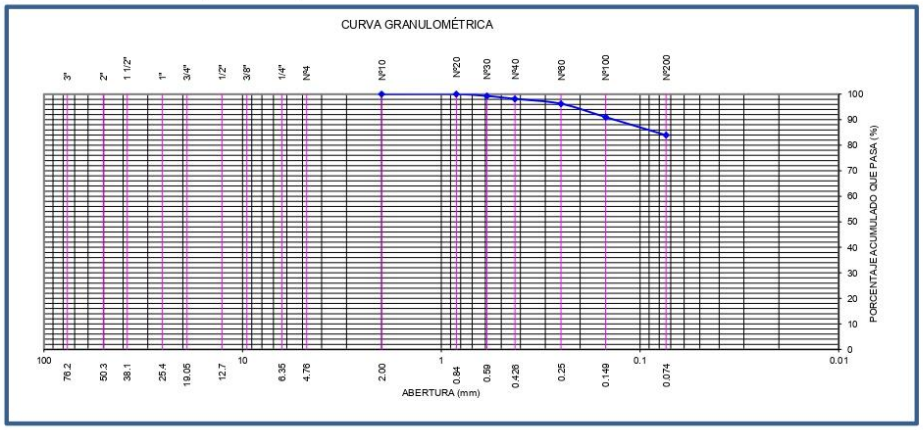
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 16.1 |
| % Finos | : | 83.9 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 54.7 |
| Límite Plástico (%) | : | 29.0 |
| Indice Plástico (%) | : | 25.7 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **28.0**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-10
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.15 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | 1.0 | 1.0 | 99.0 |
| Nº30 | 0.590 | 1.6 | 2.6 | 97.4 |
| Nº40 | 0.426 | 2.4 | 4.9 | 95.1 |
| Nº60 | 0.250 | 1.9 | 6.9 | 93.1 |
| Nº100 | 0.149 | 4.3 | 11.2 | 88.8 |
| Nº200 | 0.074 | 6.6 | 17.7 | 82.3 |
| FONDO | | 82.3 | | |

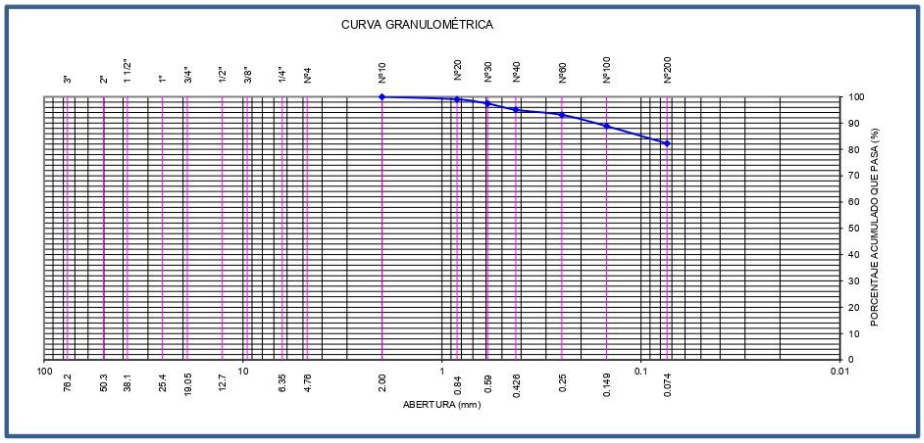
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 17.7 |
| % Finos | : | 82.3 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.6 |
| Límite Plástico (%) | : | 28.6 |
| Indice Plástico (%) | : | 24.0 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(9)**

**Contenido de Humedad (%)** : **29.6**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONCE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELO GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-11
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.20 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.8 | 0.8 | 99.2 |
| Nº40 | 0.426 | 1.3 | 2.1 | 97.9 |
| Nº60 | 0.250 | 2.1 | 4.3 | 95.7 |
| Nº100 | 0.149 | 4.4 | 8.7 | 91.3 |
| Nº200 | 0.074 | 5.6 | 14.3 | 85.7 |
| FONDO | | 85.7 | | |

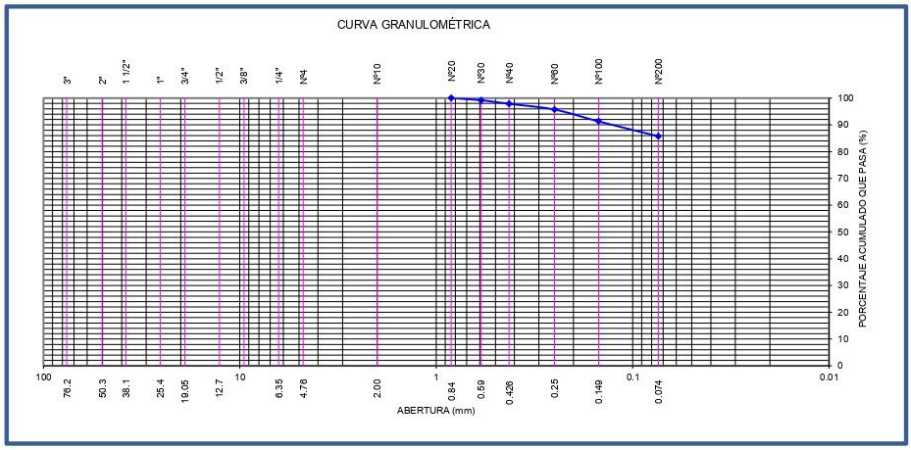
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 14.3 |
| % Finos | : | 85.7 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 51.5 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.8 |
| Indice Plástico (%) | : | 23.7 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **26.4**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222120

| | | |
|---|---|---|
| **SOLICITANTES** | : | **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA** |
| | | **BARBOZA POMA - XENIA TAMARA** |
| **PROYECTO** | : | "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI" |
| **UBICACIÓN** | | RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA |
| **FECHA** | : | AGOSTO 2025 |

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-12
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.30 - 3.00

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | - | - | 100.0 |
| Nº40 | 0.426 | 1.0 | 1.0 | 99.0 |
| Nº60 | 0.250 | 2.2 | 3.3 | 96.7 |
| Nº100 | 0.149 | 5.2 | 8.5 | 91.5 |
| Nº200 | 0.074 | 6.7 | 15.2 | 84.8 |
| FONDO | | 84.8 | | |

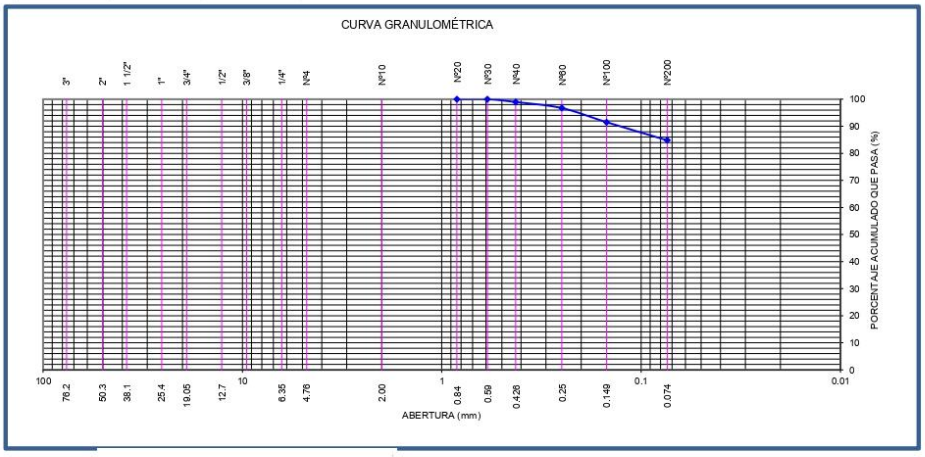
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 15.2 |
| % Finos | : | 84.8 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 51.7 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.8 |
| Indice Plástico (%) | : | 23.9 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **28.8**




LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
TERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamita Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-13
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 1.00 - 3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | 0.7 | 0.7 | 99.3 |
| Nº40 | 0.426 | 2.0 | 2.7 | 97.3 |
| Nº60 | 0.250 | 2.6 | 5.3 | 94.7 |
| Nº100 | 0.149 | 5.1 | 10.4 | 89.6 |
| Nº200 | 0.074 | 6.2 | 16.6 | 83.4 |
| FONDO | | 83.4 | | |

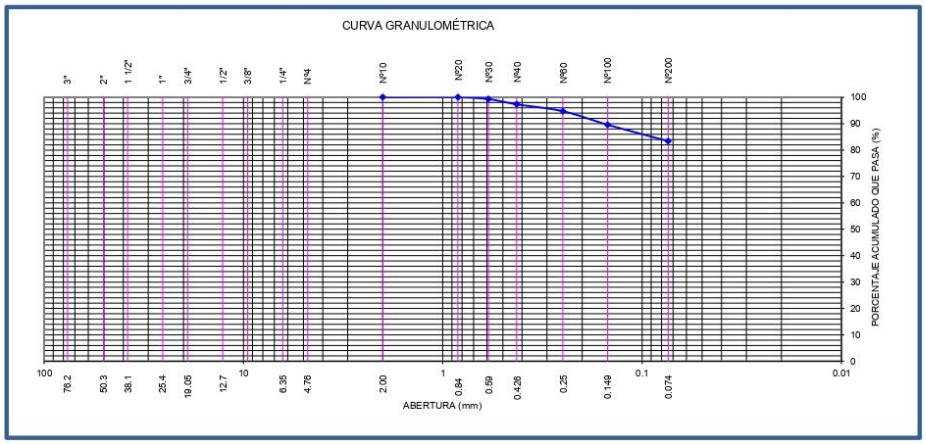
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 16.6 |
| % Finos | : | 83.4 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 53.8 |
| Límite Plástico (%) | : | 28.3 |
| Indice Plástico (%) | : | 25.4 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(11)**

**Contenido de Humedad (%)** : **25.5**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP Nº 222126

**SOLICITANTES** : **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA**
**BARBOZA POMA - XENIA TAMARA**
**PROYECTO** : "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI"
**UBICACIÓN** : RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA
**FECHA** : AGOSTO 2025

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-14
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.50 -3.00

### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | - | - | 100.0 |
| Nº30 | 0.590 | - | - | 100.0 |
| Nº40 | 0.426 | 0.9 | 0.9 | 99.1 |
| Nº60 | 0.250 | 2.5 | 3.4 | 96.6 |
| Nº100 | 0.149 | 4.4 | 7.8 | 92.2 |
| Nº200 | 0.074 | 5.5 | 13.4 | 86.6 |
| FONDO | | 86.6 | | |

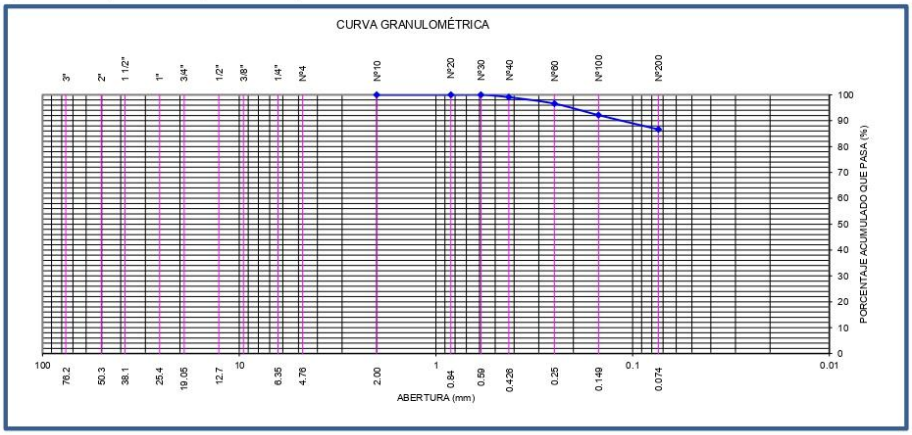
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 13.4 |
| % Finos | : | 86.6 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 52.0 |
| Límite Plástico (%) | : | 27.4 |
| Indice Plástico (%) | : | 24.6 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **27.7**






LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamalloa Vargas
Reg. CIP Nº 222120

| | | |
|---|---|---|
| **ENTIDAD** | : | **VALENCIA ACUY- MARIA CRISTINA** |
| | | **BARBOZA POMA - XENIA TAMARA** |
| **PROYECTO** | : | "MODELACION TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI" |
| **UBICACIÓN** | | RIBERA DE LA LAGUNA DE YARINACOCHA |
| **FECHA** | : | AGOSTO 2025 |

## REPORTE DE ENSAYOS DE LABORATORIO

Calicata : C-15
Muestra : M-2
Prof. (m.) : 0.40 - 3.00

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO - ASTM D422

| Tamiz | Abertura (mm) | (%) Parcial Retenido | (%) Acumulado | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Retenido | Pasa |
| 3" | 76.200 | - | - | |
| 2" | 50.300 | - | - | |
| 1 1/2" | 38.100 | - | - | |
| 1" | 25.400 | - | - | |
| 3/4" | 19.050 | - | - | |
| 1/2" | 12.700 | - | - | |
| 3/8" | 9.525 | - | - | |
| 1/4" | 6.350 | - | - | |
| Nº4 | 4.760 | - | - | |
| Nº10 | 2.000 | - | - | 100.0 |
| Nº20 | 0.840 | 0.8 | 0.8 | 99.2 |
| Nº30 | 0.590 | 1.3 | 2.1 | 97.9 |
| Nº40 | 0.426 | 2.5 | 4.5 | 95.5 |
| Nº60 | 0.250 | 2.8 | 7.3 | 92.7 |
| Nº100 | 0.149 | 3.3 | 10.6 | 89.4 |
| Nº200 | 0.074 | 5.5 | 16.1 | 83.9 |
| FONDO | | 83.9 | | |

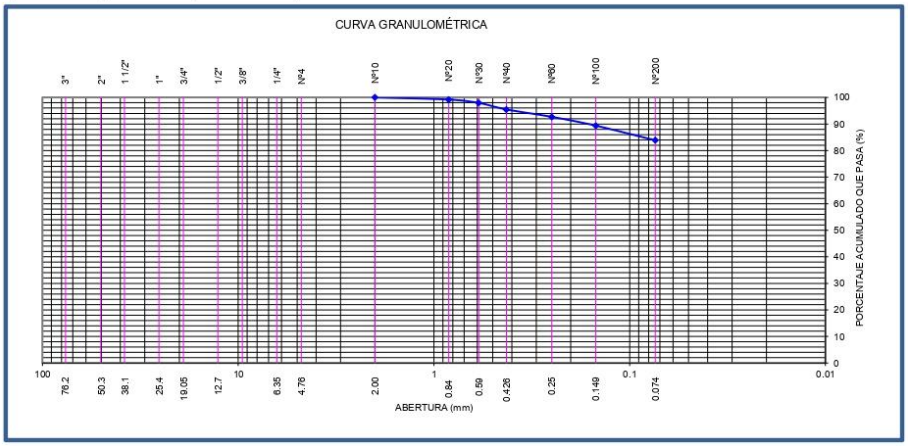
| | | |
|---|---|---|
| % Grava | : | ---- |
| % Arena | : | 16.1 |
| % Finos | : | 83.9 |

| LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318 | | |
|---|---|---|
| Límite Líquido (%) | : | 51.9 |
| Límite Plástico (%) | : | 26.9 |
| Índice Plástico (%) | : | 25.0 |

**Clasificación SUCS ASTM D2487** : **CH**

**Clasificación AASHTO ASTM D3282** : **A-7-6(10)**

**Contenido de Humedad (%)** : **29.9**




LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP Nº 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

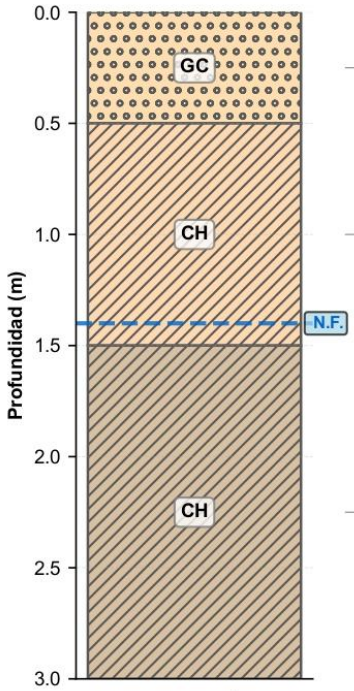
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-01 TRAMO: T1 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,471 m Norte: 9,076,919 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.40 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.50 m] (e = 0.50 m)
SUCS: GC
Grava arcillosa con arena; marrón claro; compacidad suelta a media

E-2 [0.50 - 1.50 m] (e = 1.00 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.50 - 3.00 m] (e = 1.50 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad GC - Grava arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
TERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

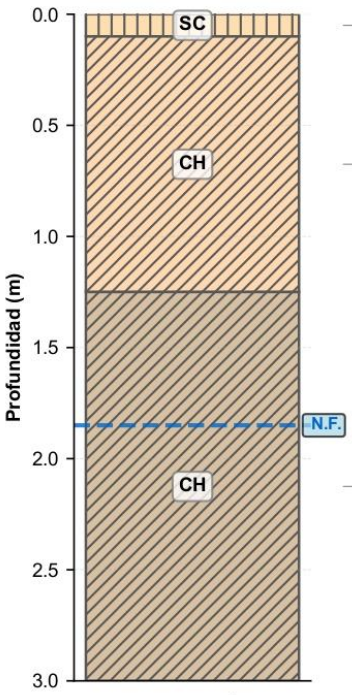
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-02 TRAMO: T1 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,489 m Norte: 9,076,887 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.85 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA**




**DESCRIPCIÓN**

E-1 [0.00 - 0.10 m] (e = 0.10 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa (relleno ribereño); humedad media; raíces dispersas

E-2 [0.10 - 1.25 m] (e = 1.15 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.25 - 3.00 m] (e = 1.75 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TÉCNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

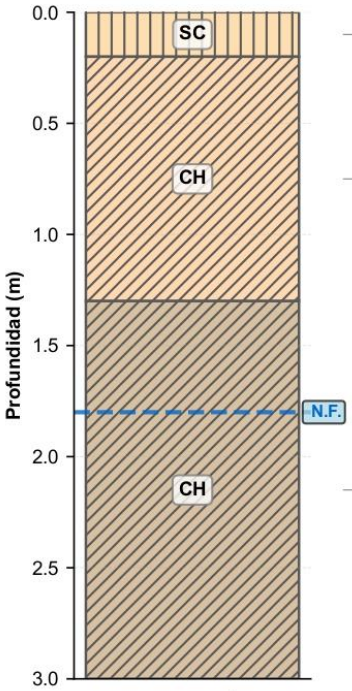
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-03 TRAMO: T1 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,514 m Norte: 9,076,868 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.80 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.20 m] (e = 0.20 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa; grano fino; compactación media; trazas orgánicas

E-2 [0.20 - 1.30 m] (e = 1.10 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.30 - 3.00 m] (e = 1.70 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. RY. MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

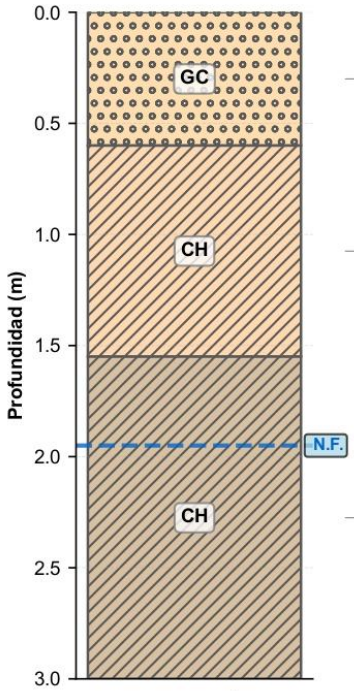
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-04 TRAMO: T2 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,621 m Norte: 9,076,807 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.95 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.60 m] (e = 0.60 m)
SUCS: GC
Grava arcillosa con arena; marrón claro; compacidad suelta a media

E-2 [0.60 - 1.55 m] (e = 0.95 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.55 - 3.00 m] (e = 1.45 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad GC - Grava arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YURY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

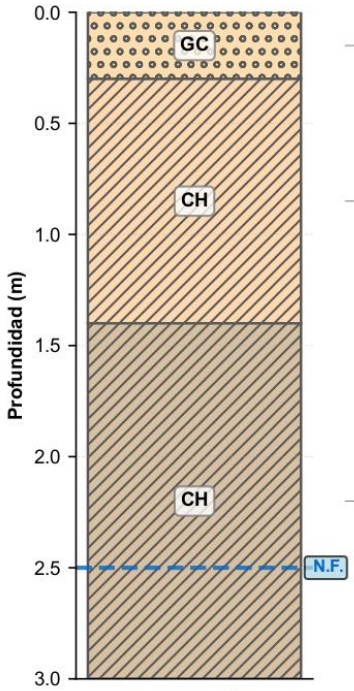
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-05 TRAMO: T2 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,652 m Norte: 9,076,785 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.50 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.30 m] (e = 0.30 m)
SUCS: GC
Grava arcillosa con arena; marrón claro; compacidad suelta a media

E-2 [0.30 - 1.40 m] (e = 1.10 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda a media; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.40 - 3.00 m] (e = 1.60 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad GC - Grava arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TÉCNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

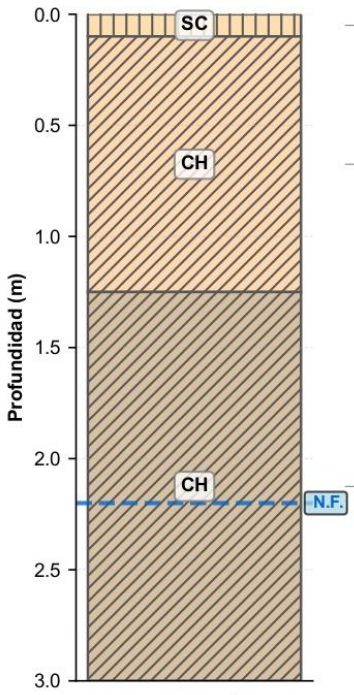
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-06 TRAMO: T2 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,686 m Norte: 9,076,787 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.20 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.10 m] (e = 0.10 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa; suelo de terraza/berma

E-2 [0.10 - 1.25 m] (e = 1.15 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.25 - 3.00 m] (e = 1.75 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

| Clasificación | |
|---|---|
| CH - Arcilla de alta plasticidad | SC - Arena arcillosa |

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERY MONGE TANANTA
TÉCNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

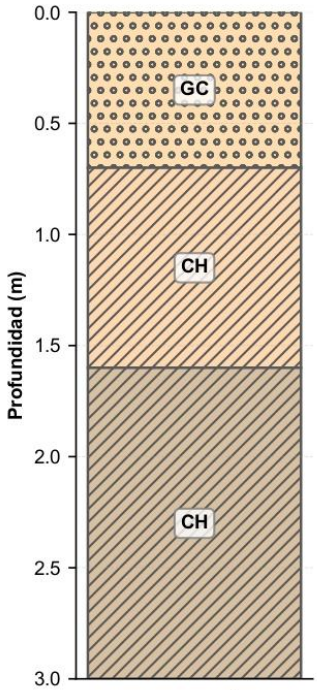
IDENTIFICACIÓN: C-07 TRAMO: T3 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,822 m Norte: 9,076,708 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m
NIVEL FREÁTICO: > 3.00 m (no interceptado)

MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.70 m] (e = 0.70 m)
SUCS: GC
Grava arcillosa con arena; marrón claro; compacidad suelta a media

E-2 [0.70 - 1.60 m] (e = 0.90 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda a media; estructura masiva; alta humedad

E-3 [1.60 - 3.00 m] (e = 1.40 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad GC - Grava arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
TERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

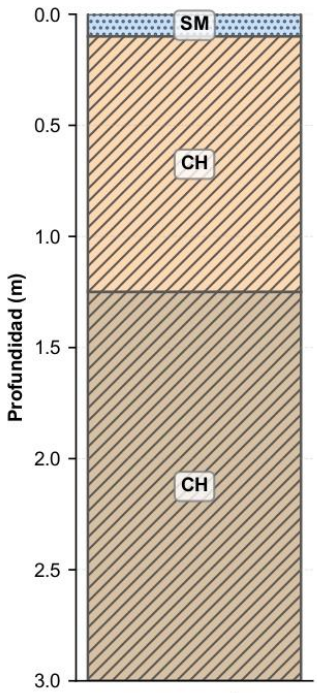
IDENTIFICACIÓN: C-08 TRAMO: T3 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,845 m Norte: 9,076,733 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m
NIVEL FREÁTICO: > 3.00 m (no interceptado)

MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA**




**DESCRIPCIÓN**

E-1 [0.00 - 0.10 m] (e = 0.10 m)
SUCS: SM
Arena limosa fina (aportes eólicos/fluviales recientes)

E-2 [0.10 - 1.25 m] (e = 1.15 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda a media; estructura masiva; alta humedad

E-3 [1.25 - 3.00 m] (e = 1.75 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SM - Arena limosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TÉCNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

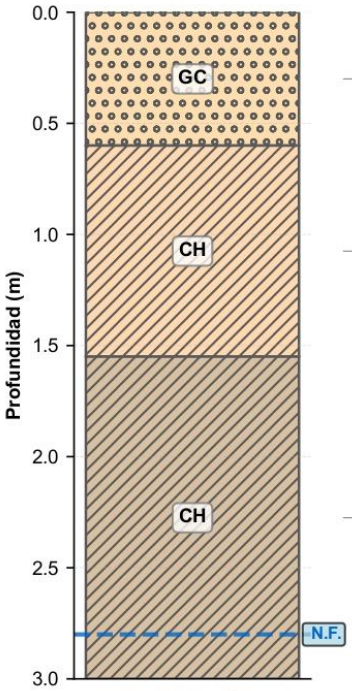
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-09 TRAMO: T3 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 546,861 m Norte: 9,076,755 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.80 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.60 m] (e = 0.60 m)
SUCS: GC
Grava arcillosa con arena; marrón claro; compacidad suelta a media

E-2 [0.60 - 1.55 m] (e = 0.95 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda a media; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.55 - 3.00 m] (e = 1.45 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad GC - Grava arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
RY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

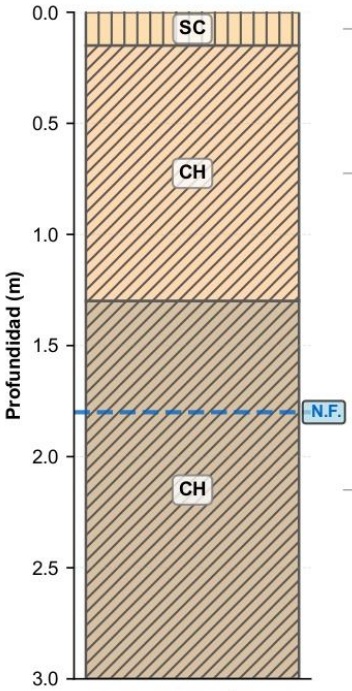
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-10 TRAMO: T4 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,021 m Norte: 9,076,838 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.80 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.15 m] (e = 0.15 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa (relleno de malecón) con gravas finas ocasionales

E-2 [0.15 - 1.30 m] (e = 1.15 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.30 - 3.00 m] (e = 1.70 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

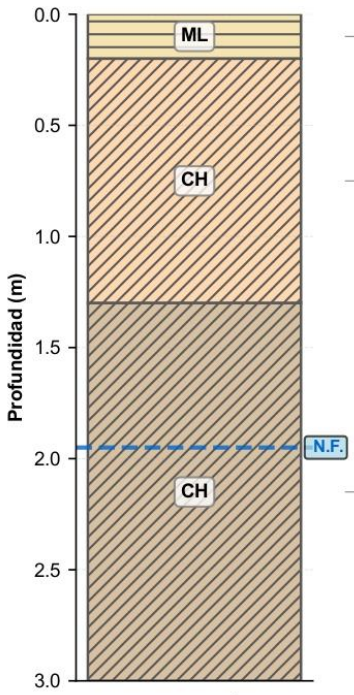
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-11 TRAMO: T4 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,054 m Norte: 9,076,813 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 1.95 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.20 m] (e = 0.20 m)
SUCS: ML
Limo de baja plasticidad con arena fina; humedad media

E-2 [0.20 - 1.30 m] (e = 1.10 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.30 - 3.00 m] (e = 1.70 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad ML - Limo de baja plasticidad

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TÉCNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamalloa Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

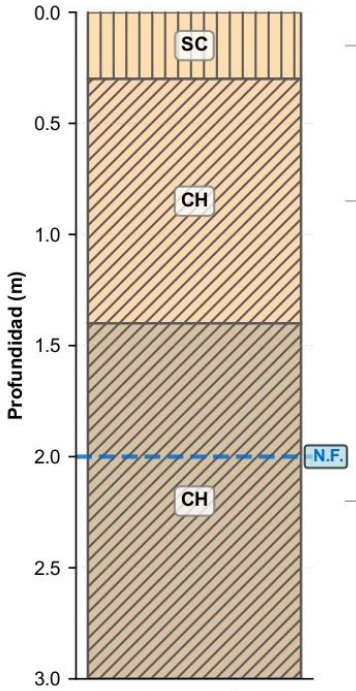
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-12 TRAMO: T4 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,012 m Norte: 9,076,813 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.00 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.30 m] (e = 0.30 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa; ligera materia orgánica

E-2 [0.30 - 1.40 m] (e = 1.10 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.40 - 3.00 m] (e = 1.60 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
TERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

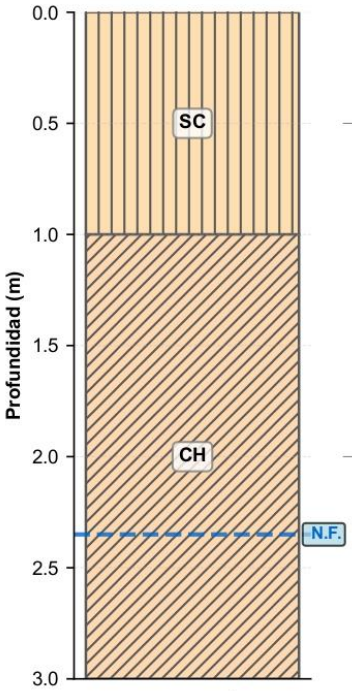
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-13 TRAMO: T5 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,137 m Norte: 9,076,872 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.35 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 1.00 m] (e = 1.00 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa (capa de relleno/terraplén); compactación media

E-2 [1.00 - 3.00 m] (e = 2.00 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. RV. MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zorrilla Vargas
Reg. CIP N° 222120

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

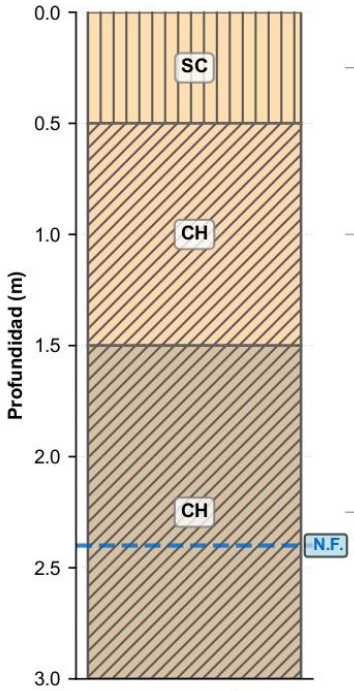
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-14 TRAMO: T5 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,140 m Norte: 9,076,827 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.40 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.50 m] (e = 0.50 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa; estructura suelta; humedad media

E-2 [0.50 - 1.50 m] (e = 1.00 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.50 - 3.00 m] (e = 1.50 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

| Clasificación | |
|---|---|
| CH - Arcilla de alta plasticidad | SC - Arena arcillosa |

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
JERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELO GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP N° 222126

# REGISTRO DE EXPLORACIÓN - CALICATA

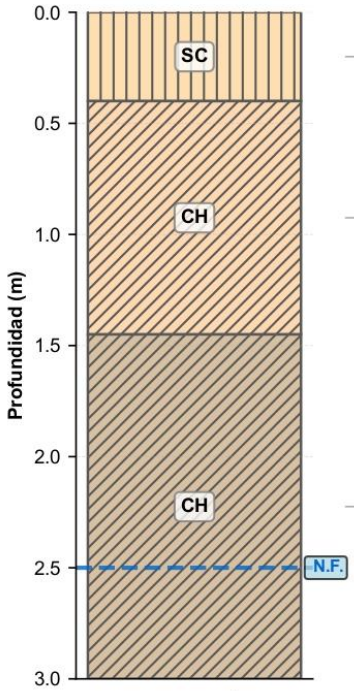
Proyecto: MODELACIÓN TIPO MASING MODIFICADO PARA ESTIMAR LAS PROPIEDADES DINÁMICAS DE SUELOS ARCILLOSOS DE LA RIBERA DEL LAGO DE YARINACOCHA, UCAYALI, 2025.

IDENTIFICACIÓN: C-15 TRAMO: T5 MES-AÑO: Agosto-2025

COORDENADAS UTM (WGS84 - Zona 18S):
Este: 547,115 m Norte: 9,076,808 m

PROFUNDIDAD EXCAVADA: 3.00 m MÉTODO DE EXCAVACIÓN: Manual
NIVEL FREÁTICO: 2.50 m (medido desde superficie) DIMENSIONES: 0.50 m × 0.50 m

**ESTRATIGRAFÍA** **DESCRIPCIÓN**




E-1 [0.00 - 0.40 m] (e = 0.40 m)
SUCS: SC
Arena arcillosa limosa; posible retrabajo antrópico

E-2 [0.40 - 1.45 m] (e = 1.05 m)
SUCS: CH
Arcilla de alta plasticidad (CH) blanda a media; estructura masiva; alta humedad; proximidad a NF

E-3 [1.45 - 3.00 m] (e = 1.55 m)
SUCS: CH
Arcilla CH de consistencia media; lentes limo-arenosos dispersos

**SIMBOLOGÍA SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Clasificación
CH - Arcilla de alta plasticidad SC - Arena arcillosa

OBSERVACIONES:
- Muestreo de suelos para ensayos de laboratorio según norma ASTM D420
- Clasificación visual-manual complementada con análisis granulométrico y límites de Atterberg
- El perfil mostrado corresponde a condiciones del subsuelo al momento de la exploración

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS GEOTEC JSB E.I.R.L.
YERRY MONGE TANANTA
TECNICO EN GEOTECNIA Y GEOMECANICA

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELO GEOTEC JSB E.I.R.L.
Ing. Carlos Esteban Zamora Vargas
Reg. CIP N° 222120

## Pseudocódigo del flujo computacional (Masing modificado)

**Para cada calicata i:**

**SI faltan γ_húm o γ_sat:**

```
    # 1) Geostática a z_ref
    γ_d   = γ_húm / (1 + w)          # w en fracción
    e     = (Gs * γw / γ_d) – 1
    γ_sat = γw * (Gs + e) / (1 + e)

σv     = γ_húm * min(z_ref, zw) + γ_sat * max(0, z_ref - zw)
u      = γw * max(0, z_ref - zw)
σ′v    = σv – u
σ′h    = K0 * σ′v
σ′c_kPa = (σ′v + 2*σ′h) / 3
σ′c_kg  = σ′c_kPa / 98.0665        # (1 kg/cm² = 98.0665 kPa)

# 2) Parámetros "bounds" y Gmax
Gmax = 12523 * σ′c_kg * IP^(-0.86)   # kg/cm²
Gmin = 0.02 * Gmax                   # 2% de Gmax (adoptado)
λmin, λmax = funciones(IP)

# 3) Parámetros del modelo Masing (en función de IP)
# Ecuaciones de González-Blandón & Romo (2011):
γrG  = 2e-5 * IP^(1.875)             # fracción de γ  (luego convertir a % si se reporta)
γrλ  = 0.0044*IP + 0.0377 - 0.16     # %
# Entradas: IP (%)

# Cálculo bruto por fórmulas
BG_raw  = -2e-6 * IP^2 + 0.0014 * IP + 0.2846
Bλ_raw  = -7e-6 * IP^2 + 0.0038 * IP + 0.3282 + 0.05938

# Aplicar umbral mínimo 0.10
BG = MAX(BG_raw, 0.10)
Bλ = MAX(Bλ_raw, 0.10)

# Convertir "%" a fracción para operar:
γrG_frac = γrG       # ya está en fracción
γrλ_frac = γrλ/100.0


# 4) Generación de curvas en malla log de deformación
γ_vec = logspace(-4, -2.3010, N)     # 0.01% a 0.50% en fracción (N ≈ 30–50)
```

**PARA cada γ en γ_vec:**

HG = ( (γ/γrG_frac)^(2*BG) ) / ( 1 + (γ/γrG_frac)^(2*BG) )

Hλ = ( (γ/γrλ_frac)^(2*Bλ) ) / ( 1 + (γ/γrλ_frac)^(2*Bλ) )

G = (Gmin - Gmax)*HG + Gmax

D = (λmax - λmin)*Hλ + λmin

guardar [γ, G/Gmax, D]

# 5) Parámetros equivalentes

**PARA γt en {0.01%, 0.10%, 0.50%}:**

interpolar G(γt) y D(γt) → Geq, Deq por estrato (0–1, 1–2, 2–3 m)

**FIN**

**FIN**

# 6) Representativas por tramo y envolventes

**AGRUPAR por tramo:**

curva representativa = mediana punto a punto (o p50)

envolvente superior/inferior = p95 / p5 (o min/max)

## Ejemplo numérico paso a paso – Calicata C-05

Este anexo ilustra el procedimiento de cálculo empleado en la tesis para obtener σ′c, $G_{max}$ y las curvas dinámicas $G/G_{max}(\gamma)$ y $D(\gamma)$ usando el modelo de Masing modificado. Los datos corresponden a la calicata C-05 (Tramo T2).

### 1. Datos de entrada

| Magnitud | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Profundidad de referencia | z | 3.00 | m |
| Nivel freático | z_w | 2.50 | m |
| Coeficiente en reposo | $K_0$ | 0.55 | — |
| Índice de plasticidad | IP | 25.30 | % |
| Peso unitario natural | γ_húm | 17.83 | kN/m³ |
| Peso unitario saturado | γ_sat | 18.53 | kN/m³ |
| Peso unitario del agua | γ_w | 9.81 | kN/m³ |

*Observación: z=3.00 m y z_w=2.50 m ⇒ el tramo no saturado es de 2.50 m y el saturado de 0.50 m.*

### 2. Cálculo geostático de tensiones efectivas

#### 2.1. Tensión vertical total:

$\sigma_v = \gamma_{húm} \cdot \min(z, z_w) + \gamma_{sat} \cdot \max(0, z - z_w) = 17.83 \cdot 2.50 + 18.53 \cdot 0.50 = 53.84$ kPa

#### 2.2. Presión de poros:

$u = \gamma_w \cdot \max(0, z - z_w) = 9.81 \cdot 0.50 = 4.91$ kPa

#### 2.3. Tensión vertical efectiva:

$\sigma'_v = \sigma_v - u = 53.84 - 4.91 = 48.93$ kPa

#### 2.4. Tensión horizontal efectiva ($K_0$):

$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v = 0.55 \cdot 48.93 = 26.92$ kPa

#### 2.5. Confinamiento efectivo:

$\sigma'_c = (\sigma'_v + 2 \cdot \sigma'_h)/3 = (48.93 + 2 \cdot 26.92)/3 = 34.26$ kPa (= 0.3494 kg/cm²)

### 3. Estimación de Gmax(IP, σ′c)

Se usa la relación empírica adoptada en la tesis: $G_{max} = 12\,523 \cdot \sigma'c(kg/cm^2) \cdot IP^{(-0.86)}$.

$G_{max} = 12\,523 \cdot 0.3494 \cdot 25.30^{(-0.86)} = 271.82$ kg/cm²

**4. Parámetros del modelo Masing**

| Parámetro | Símbolo | Valor | Unidad |
|---|---|---|---|
| Rigidez máxima | $G_{max}$ | 271.82 | kg/cm² |
| Rigidez residual | $G_{min}$ | 5.44 | kg/cm² |
| Amortiguamiento mínimo | λ_min | 2.57 | % |
| Amortiguamiento máximo | λ_max | 14.13 | % |
| Deformación de referencia rigidez | γ_rG | 6.82 | % |
| Deformación de referencia amortiguamiento | γ_rλ | 0.149 | % |
| Exponente rigidez | B_G | 0.10 | — |
| Exponente amortiguamiento | B_λ | 0.10 | — |

Con estos parámetros, las funciones de transición son: H_G = (γ/γ_rG)^{2B_G}/(1 + (γ/γ_rG)^{2B_G}) y H_λ = (γ/γ_rλ)^{2B_λ}/(1 + (γ/γ_rλ)^{2B_λ}). Luego, G = (Gmin − Gmax)·H_G + Gmax y λ = (λ_max − λ_min)·H_λ + λ_min.

**5. Resultados en tres niveles de deformación cortante**

| γ | H_G | G (kg/cm²) | λ (%) |
|---|---|---|---|
| 0.01 % | 0.213 | 214.99 | 6.82 |
| 0.10 % | 0.301 | 191.75 | 8.12 |
| 0.50 % | 0.372 | 172.66 | 9.04 |

Los valores muestran la degradación progresiva de rigidez con la deformación y el incremento del amortiguamiento, en concordancia con el comportamiento de arcillas de plasticidad media.

## Uso de curvas dinámicas y parámetros equivalentes (Geq - Deq) en RSSeismic/STRATA

Objetivo. Este anexo describe, de forma breve, cómo cargar las curvas G/Gmax(γ) y D(γ) y/o utilizar los parámetros equivalentes Geq–Deq a γ = 0.01 %, 0.10 % y 0.50 % en softwares de respuesta sísmica 1D (p. ej., RSSeismic/STRATA).

### Insumos generados por la tesis

• **curves_tramo_T*.csv**: curvas por tramo con columnas: *gamma_%*, G/Gmax_prom, D_prom, G/Gmax_min, G/Gmax_max, D_min, D_max.

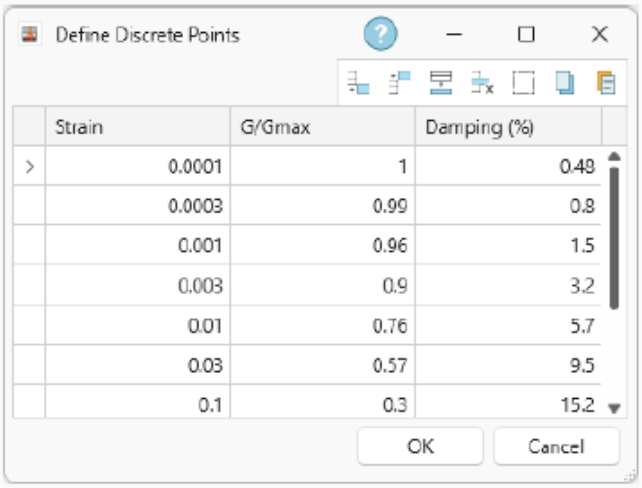
• **Geq_Deq_por_calicata_0p01_0p10_0p50.csv**: tabla por calicata con Geq (kg/cm²) y Deq (%) en tres niveles de γ.

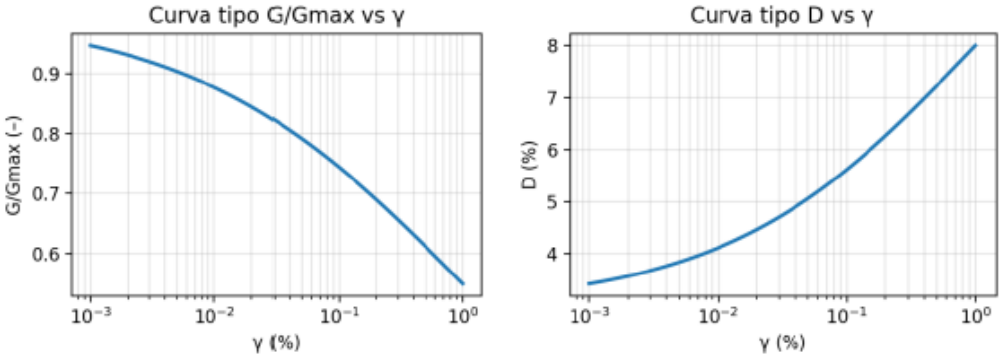
• **Resumen_Geq_Deq_por_tramo.csv**: promedio por tramo para análisis equivalente.

```
Carpeta: salidas/
  ├ curves_tramo_T1.csv  (γ, GGmax_prom, D_prom, GGmax_min, GGmax_max, D_min, D_max)
  ├ curves_tramo_T2.csv  ( … )
  ├ …
  ├ Geq_Deq_por_calicata_0p01_0p10_0p50.csv
  └ Resumen_Geq_Deq_por_tramo.csv
```

### A) Uso de curvas G/Gmax y D(γ) (modelo no lineal por curvas)

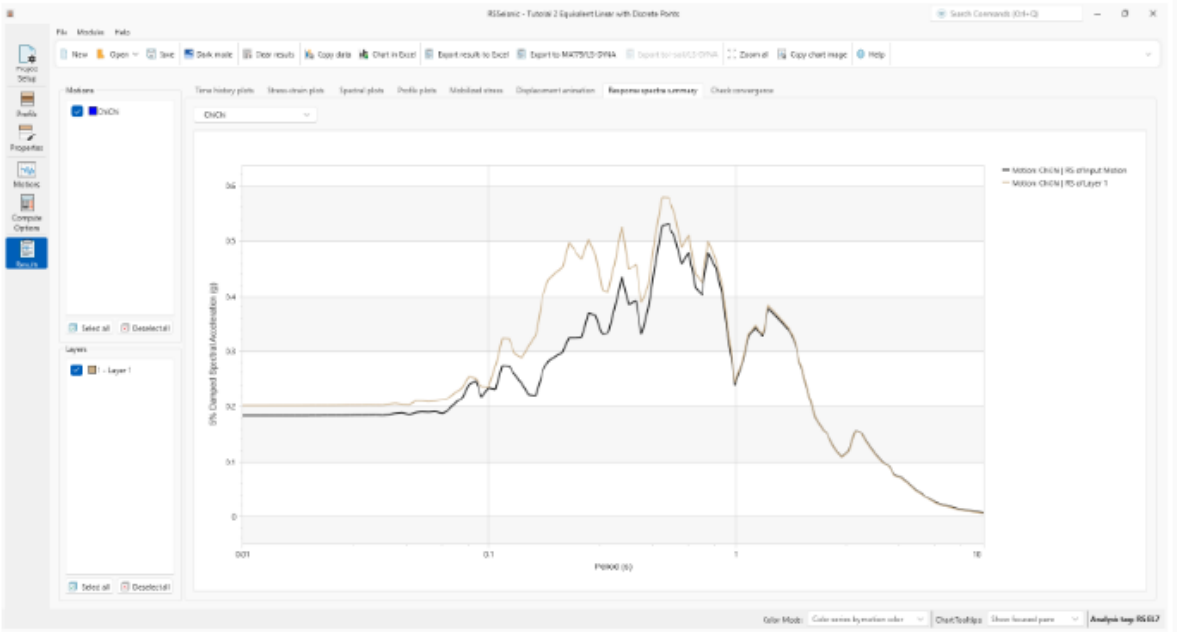
1. Crear el perfil estratigráfico en el software (espesores y unidades).
2. En el editor de material, elegir el modelo con 'Modulus Reduction & Damping' definidos por puntos.
3. Importar las columnas del CSV del tramo: mapear gamma_% → Strain (%), GGmax_prom → Modulus Reduction y D_prom → Damping Ratio. Para un análisis de sensibilidad, repetir con GGmax_min/Max y D_min/Max.
4. Asignar la misma pareja de curvas a los estratos del tramo correspondiente (o usar T1…T5 según ubicación del punto de estudio).
5. Definir el registro de entrada y las condiciones de borde; ejecutar el análisis.




**B) Uso de parámetros equivalentes Geq–Deq (análisis lineal equivalente)**

6. Para cada estrato, seleccionar un nivel de deformación objetivo (γ = 0.01 %, 0.10 % o 0.50 %) según la demanda esperada; en caso de duda, inicie con 0.10 %.
7. Desde Geq_Deq_por_calicata_0p01_0p10_0p50.csv o Resumen_Geq_Deq_por_tramo.csv, tomar Geq y Deq del tramo correspondiente.
8. En el editor del material, ingresar G = Geq (convertir de kg/cm² a kPa si es necesario: 1 kg/cm² = 98.0665 kPa) y el damping ratio = Deq (%).
9. Si el software itera el nivel de deformación (EQL), habilitar la opción de actualizar rigidez/atenuación por ciclo; si no, mantener fijo el par (Geq, Deq) y reportar el γ asumido en el anexo del proyecto.
10. Realizar un caso base con valores promedio por tramo y dos casos de sensibilidad con ± un nivel de rigidez (usar valores de tramos vecinos o percentiles si dispone).



**Notas prácticas**

• Las curvas y parámetros son independientes de la clasificación NTE E.030; la categoría de sitio (S0–S4) se usa para el espectro de diseño de la norma, mientras que RSSeismic/STRATA emplean directamente G/Gmax–D(γ) o (Geq,Deq).

• Use 'Promedio' como curva base. 'Mín–Máx' proporcionan una banda de incertidumbre para evaluar la sensibilidad de la respuesta (amplificación y aceleraciones pico).

• Consistencia de unidades: γ en %, G en kg/cm² (o kPa tras conversión), D en %.

## DATOS, PARÁMETROS Y RESULTADOS PARA MODELACIÓN MASING MODIFICADO

| Calicata | Tramo | z (m) | $z_w$ (m) | $K_o$ (-) | IP (%) | w (%) | Gs (-) | e | γ_seco (kN/m³) | γ_húm (kN/m³) | γ_sat (kN/m³) | σ'v (kPa) | u (kPa) | σ'h (kPa) | σ'c (kPa) | σ'c (kg/cm²) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| C-01 | T1 | 3.00 | 1.40 | **0.55** | 25.80 | 29.90 | **2.70** | 0.95 | 13.58 | 17.65 | 18.36 | 38.39 | 15.70 | 21.11 | 26.87 | 0.2740 |
| C-02 | T1 | 3.00 | 1.85 | **0.55** | 24.80 | 26.10 | **2.70** | 0.83 | 14.48 | 18.26 | 18.93 | 44.27 | 11.28 | 24.35 | 30.99 | 0.3160 |
| C-03 | T1 | 3.00 | 1.80 | **0.55** | 26.10 | 25.70 | **2.70** | 0.82 | 14.58 | 18.33 | 18.99 | 44.01 | 11.77 | 24.21 | 30.81 | 0.3142 |
| C-04 | T2 | 3.00 | 1.95 | **0.55** | 24.50 | 30.40 | **2.70** | 0.97 | 13.47 | 17.57 | 18.29 | 43.17 | 10.30 | 23.74 | 30.22 | 0.3082 |
| C-05 | T2 | 3.00 | 2.50 | **0.55** | 25.30 | 28.70 | **2.70** | 0.91 | 13.86 | 17.83 | 18.53 | 48.94 | 4.91 | 26.92 | 34.26 | 0.3494 |
| C-06 | T2 | 3.00 | 2.20 | **0.55** | 24.50 | 27.30 | **2.70** | 0.87 | 14.19 | 18.06 | 18.74 | 46.87 | 7.85 | 25.78 | 32.81 | 0.3346 |
| C-07 | T3 | 3.00 | >3.00 | **0.55** | 25.50 | 26.30 | **2.70** | 0.84 | 14.43 | 18.23 | 18.90 | 54.68 | 0.00 | 30.07 | 38.28 | 0.3903 |
| C-08 | T3 | 3.00 | >3.00 | **0.55** | 25.90 | 25.80 | **2.70** | 0.82 | 14.56 | 18.31 | 18.98 | 54.94 | 0.00 | 30.22 | 38.46 | 0.3922 |
| C-09 | T3 | 3.00 | 2.80 | **0.55** | 25.70 | 28.00 | **2.70** | 0.89 | 14.02 | 17.94 | 18.64 | 52.01 | 1.96 | 28.60 | 36.41 | 0.3712 |
| C-10 | T4 | 3.00 | 1.80 | **0.55** | 24.00 | 29.60 | **2.70** | 0.94 | 13.65 | 17.69 | 18.41 | 42.16 | 11.77 | 23.19 | 29.51 | 0.3009 |
| C-11 | T4 | 3.00 | 1.95 | **0.55** | 23.70 | 26.40 | **2.70** | 0.84 | 14.41 | 18.21 | 18.88 | 45.03 | 10.30 | 24.77 | 31.52 | 0.3214 |
| C-12 | T4 | 3.00 | 2.00 | **0.55** | 23.90 | 28.80 | **2.70** | 0.91 | 13.83 | 17.82 | 18.52 | 44.34 | 9.81 | 24.39 | 31.04 | 0.3165 |
| C-13 | T5 | 3.00 | 2.35 | **0.55** | 25.40 | 25.50 | **2.70** | 0.81 | 14.63 | 18.37 | 19.02 | 49.15 | 6.38 | 27.03 | 34.40 | 0.3508 |
| C-14 | T5 | 3.00 | 2.40 | **0.55** | 24.60 | 27.70 | **2.70** | 0.88 | 14.09 | 17.99 | 18.68 | 48.50 | 5.89 | 26.68 | 33.95 | 0.3462 |
| C-15 | T5 | 3.00 | 2.50 | **0.55** | 25.00 | 29.90 | **2.70** | 0.95 | 13.58 | 17.65 | 18.36 | 48.39 | 4.91 | 26.62 | 33.88 | 0.3454 |

## DATOS, PARÁMETROS Y RESULTADOS PARA MODELACIÓN MASING MODIFICADO

| $G_{max}$ (kg/cm²) | $G_{min}$ (kg/cm²) | $\lambda_{max}$ (%) | $\lambda_{min}$ (%) | $\gamma_{rG}$ (%) | $\gamma_{r\lambda}$ (%) | $B_G$ (%) | $B_\lambda$ (%) | Y=0.01% | Y=0.1% | Y=0.5% |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 209.66 | 4.19 | 14.18 | 2.65 | 7.08 | 0.1512 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 250.12 | 5.00 | 14.08 | 2.48 | 6.56 | 0.1468 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 237.98 | 4.76 | 14.21 | 2.70 | 7.24 | 0.1525 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 246.50 | 4.93 | 14.05 | 2.43 | 6.41 | 0.1455 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 271.82 | 5.44 | 14.13 | 2.57 | 6.82 | 0.1490 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 267.63 | 5.35 | 14.05 | 2.43 | 6.41 | 0.1455 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 301.64 | 6.03 | 14.15 | 2.60 | 6.92 | 0.1499 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 299.04 | 5.98 | 14.19 | 2.67 | 7.13 | 0.1517 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 284.98 | 5.70 | 14.17 | 2.63 | 7.03 | 0.1508 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 245.02 | 4.90 | 14.00 | 2.35 | 6.16 | 0.1433 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 264.56 | 5.29 | 13.97 | 2.30 | 6.01 | 0.1420 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 258.63 | 5.17 | 13.99 | 2.33 | 6.11 | 0.1429 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 272.04 | 5.44 | 14.14 | 2.58 | 6.87 | 0.1495 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 275.97 | 5.52 | 14.06 | 2.45 | 6.46 | 0.1459 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |
| 271.54 | 5.43 | 14.10 | 2.52 | 6.66 | 0.1477 | 0.1000 | 0.1000 | 0.01 | 0.10 | 0.50 |

## DATOS, PARÁMETROS Y RESULTADOS PARA MODELACIÓN MASING MODIFICADO

| $H_G$ (Y=0.01%) | $H_\lambda$ (Y=0.01%) | $H_G$ (Y=0.1%) | $H_\lambda$ (Y=0.1%) | $H_G$ (Y=0.5%) | $H_\lambda$ (Y=0.5%) | G (kg/cm²) (Y=0.01%) | λ (%) (Y=0.01%) | G (kg/cm²) (Y=0.1%) | λ (%) (Y=0.1%) | G (kg/cm²) (Y=0.5%) | λ (%) (Y=0.5%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.212 | 0.367 | 0.299 | 0.479 | 0.370 | 0.560 | 166.09 | 6.89 | 148.22 | 6.10 | 133.54 | 9.10 |
| 0.215 | 0.369 | 0.302 | 0.481 | 0.374 | 0.561 | 197.51 | 6.76 | 176.04 | 5.99 | 158.43 | 8.99 |
| 0.211 | 0.367 | 0.298 | 0.479 | 0.369 | 0.559 | 188.70 | 6.92 | 168.46 | 6.13 | 151.82 | 9.14 |
| 0.215 | 0.369 | 0.303 | 0.481 | 0.375 | 0.561 | 194.46 | 6.72 | 173.25 | 5.96 | 155.87 | 8.96 |
| 0.213 | 0.368 | 0.301 | 0.480 | 0.372 | 0.560 | 214.99 | 6.82 | 191.75 | 8.12 | 172.66 | 9.04 |
| 0.215 | 0.369 | 0.303 | 0.481 | 0.375 | 0.561 | 211.13 | 6.72 | 188.10 | 5.96 | 169.23 | 8.96 |
| 0.213 | 0.368 | 0.300 | 0.480 | 0.372 | 0.560 | 238.73 | 6.85 | 212.97 | 6.06 | 191.81 | 9.07 |
| 0.212 | 0.367 | 0.299 | 0.479 | 0.370 | 0.559 | 236.96 | 6.90 | 211.50 | 6.11 | 190.56 | 9.11 |
| 0.212 | 0.368 | 0.299 | 0.479 | 0.371 | 0.560 | 225.68 | 6.87 | 201.38 | 6.09 | 181.41 | 9.09 |
| 0.217 | 0.370 | 0.305 | 0.482 | 0.377 | 0.562 | 192.97 | 6.66 | 171.81 | 5.90 | 154.49 | 8.90 |
| 0.218 | 0.370 | 0.306 | 0.482 | 0.378 | 0.563 | 208.15 | 6.62 | 185.24 | 5.87 | 166.52 | 8.87 |
| 0.217 | 0.370 | 0.305 | 0.482 | 0.377 | 0.562 | 203.62 | 6.65 | 181.27 | 5.89 | 162.98 | 8.89 |
| 0.213 | 0.368 | 0.300 | 0.480 | 0.372 | 0.560 | 215.23 | 6.84 | 191.98 | 6.05 | 172.89 | 9.06 |
| 0.215 | 0.369 | 0.303 | 0.481 | 0.375 | 0.561 | 217.78 | 6.74 | 194.06 | 5.97 | 174.61 | 8.97 |
| 0.214 | 0.369 | 0.302 | 0.481 | 0.373 | 0.561 | 214.57 | 6.79 | 191.29 | 6.01 | 172.20 | 9.01 |